

В.А. Гончарова, С.Д. Пименов, А.В. Бахтиярова, А.И. Сизов

**ПОВЕДЕНИЕ ЗОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДРЕВЕСИНЫ
В ПРОЦЕССЕ КИСЛОТНОГО ГИДРОЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ**

Введение. Минеральные вещества имеют большое значение в развитии растений. Они входят в состав ферментов, клеточных мембран и других жизненно важных клеточных структур. Минеральные вещества поступают в растения из почвы через корневую систему и переносятся по высоте ствола дерева через капилляры, расположенные в заболонной части древесины. В состав минеральных компонентов входит более 20 элементов, однако 80% их массы приходится на кальций, магний и калий [Rowell, 2005]. Содержание минеральных компонентов зависит от породы и возраста дерева (в молодых растениях больше минеральных компонентов) и составляет для различных пород от 0,2 до 0,5% от сухой массы древесины.

В различных структурных элементах дерева минеральные компоненты распределены весьма неравномерно. Так в заболони их содержание для различных пород древесины в 5–9 раз выше, чем в ядре [Lambert, 1981]. Состав минеральных или зольных компонентов растительной ткани, как правило, определяется анализом остатка после прокаливания образцов при 600 °С в течение 5 ч.

Зольные компоненты растительного сырья в основном представлены щелочными и щелочноземельными металлами (K, Ca, Mg). Катионы этих металлов, по мнению авторов [Springer, Harris, 1985], находятся в связанном состоянии с органическими анионами, представленными О-4-метилглюкуроновой кислотой, входящей в состав гемицеллюлоз. О-4-метилглюкуроновая кислота является сильной органической кислотой с рК 3, и ионный обмен с замещением катиона ионом гидроксония может происходить для нее только в растворах минеральных кислот при pH менее 1,5. Соответственно, экстракция зольных элементов из древесины может быть проведена только с использованием кислых растворов. С другой стороны, в работах [Hörhammer et al., 2018; Aston et al., 2016; Bin, Hongzhang, 2010] показана возможность удаления зольных элементов из молодой древесины тополя, кукурузной кочерыжки и соломы злаков

экстракцией горячей водой и разбавленными растворами минеральных кислот. Водная экстракция кукурузной кочерыжки приводила к снижению зольных элементов с 9,6 до 5,0%, а для биомассы двухлетнего тополя с 2,0 до 0,8%.

Зольные вещества, помимо физиологического значения для растений, оказывают значительное влияние на процессы химической и термохимической переработки древесины. Удаление золы из растительных материалов водной экстракцией способствовало улучшению параметров ферментативного гидролиза полисахаридов и устранению ряда проблем при сжигании растительной биомассы [Aston et al., 2016; Chin et al., 2015; He et al., 2014; Bin, Hongzhang, 2010].

Поведение зольных элементов древесины в процессе кислотного гидролиза древесины явилось целью настоящей работы.

Методика исследования. Использовались воздушно-сухие опилки с размером 1,0 -1,5 мм из окоренной древесины березы *Betula pendula* из Ленинградской области. Химический состав древесины: гемицеллюлозы – 23,7%, целлюлоза – 44,5%, лигнин – 22,7%, зола – 0,32%. В работе использовалась измельченная воздушно – сухая древесина березы (*Betula pendula*) из Ленинградской области с размерами частиц 1,0–1,5 мм. Использовались серная кислота и едкий натр (95–98%) фирмы «Вектон». Гидролиз проводили в периодических условиях в стальных автоклавах емкостью 100 мл из стали X18H9T, внутрь автоклава вставляли стеклянную пробирку емкостью 50 мл, в которую загружали 4–5 г сырья в пересчете на абсолютно сухое вещество. Полость между автоклавом и пробиркой для улучшения теплопередачи заполняли водой.

Нагрев автоклавов проводили на масляной бане с регулируемой температурой и мешалкой. Время достижения температуры внутри автоклава равновесной с температурой масла составляло менее 2 минут. После выдержки при заданной температуре автоклав извлекали из бани и охлаждали проточной водой. Содержимое пробирки количественно переносили на фильтр и отмывали водой до нейтральной реакции по метилоранжу. Концентрацию кислоты определяли кондуктометрическим титрованием с использованием кондуктометра TDS-03.

Фильтрат и остаток целлюлигина на фильтре анализировали по методикам, приведенным в [Chin et al., 2015]. Зольные вещества определяли весовым методом после сжигания и прокаливания пробы при 600 °С в течение 5 ч.

Экстракция зольных элементов из древесины. Минеральные компоненты древесины являются физиологически активными веществами и участвуют в биосинтезе клеток растительной ткани. Перенос минеральных компонентов от корней ко всем структурным элементам растения осуществляется за счет движения водных растворов солей по сосудам и капиллярам древесины. Таким образом, часть минеральных компонентов обязательно должна присутствовать в древесине в виде водорастворимых солей, и часть – в виде связанных с клеточными структурами комплексов.

Для выяснения соотношения между водорастворимыми и связанными частями зольных элементов древесины были проведены эксперименты по их экстракции водой и растворами кислот. Древесные опилки в количестве 10 г помещали в колбу и смачивали 50 мл соответствующего раствора. Смоченную массу выдерживали при комнатной температуре 24 ч, количественно переносили на воронку Бюхнера и промывали водой до нейтральной реакции по метилоранжу. Остаток на фильтре высушивали при 105 °С, взвешивали и прокаливали в муфельной печи при 600 °С в течение 5 ч. Остаток после прокаливания взвешивали, растворяли в воде и титровали 0,01н раствором серной кислоты.

Результаты исследования. В составе зольных веществ присутствовало незначительное количество не растворимых в воде солей, которые делали раствор слегка мутным. В табл. 1 приведены данные по содержанию зольных веществ и их нейтрализующей способности в древесине березы после экстракции водой и растворами кислот.

Как видно из данных табл. 1, более 42,4% зольных веществ березы не связаны с какими-либо компонентами древесины и хорошо растворимы в воде. При использовании растворов уксусной и серной кислот экстракция зольных элементов возрастает и составляет 63,6% от их исходной массы. Полученные результаты позволяют предположить, что зольные элементы, составляющие разницу между водо- и кислоторастворимыми компонентами (21,2%), находятся в связанном с органическими анионами состоянии и при ионном обмене замещают катионы на ион гидроксония. Оставшиеся 36,3% зольных веществ не растворимы в воде и кислоте и прочно связаны с клеточными компонентами.

Анализ нейтрализующей способности остаточных зольных элементов древесины показал, что после экстракции водой способность снижалась до 47% от исходной, а после кислотной экстракции составляла только 13%.

Таблица 1

Нейтрализующая способность зольных веществ**Neutralizing ability of ash substances**

№	Материал и процессы	Остаток зольных веществ		Раство- рилось зольных веществ	Нейтрализующая способ- ность золы		
		% от сухой массы древесины	% от исход- ной массы золы	% от исход- ной массы золы	мг-экв/кг сухой массы древесины	% от исход- ной способ- ности	масса 1 г-экв растворимой золы, г
1	Исходная древесина	0,33	100,0	-	72,5	100,0	45,5
2	После экстракции водой	0,19	57,6	42,4	34,0	46,9	36,4
3	После экстракции 1% уксусной кислотой	0,12	36,4	63,6	13,6	18,8	35,6
4	После экстракции 0,25% серной кислотой	0,12	36,4	63,6	9,4	13,0	33,3

Средняя величина массовой доли одного г-эквивалента нейтрализующей способности растворимых зольных элементов была рассчитана как отношение массы растворимых зольных элементов к г-эквивалентам их нейтрализующей способности. Средняя массовая доля г-эквивалента составила для исходной древесины 45,5 г, а для растворимой части зольных элементов от 33,3 до 36,4 г, что хорошо соответствует величине, рассчитанной на основе элементного состава золы (33,9 г).

В табл. 2 представлены результаты кислотного гидролиза древесины березы при ультранизких расходах серной кислоты.

Как видно из данных табл. 2, за первые 20 мин процесса, когда гидролиз полисахаридов только начинается, происходит удаление более 85% зольных элементов древесины. Увеличение времени и, соответственно, глубины гидролиза полисахаридов практически не сказывается на количестве удаленных из древесины зольных элементов.

Разность между количеством зольных элементов, перешедших в раствор при гидролизе гемицеллюлоз (86,4%) и экстрагируемых разбавленной серной кислотой (63,6%), определяет количество прочно связанных с легкогидролизуемыми компонентами древесины зольных элементов и составляет 22,8% общего количества золы.

Таблица 2

**Динамика изменения содержания зольных элементов
при гидролизе древесины березы 0,25% серной кислотой
при температуре 150 °С и соотношении жидкость / твердая фаза 2,5**

**Dynamics of ash element content during birch wood hydrolysis
with 0.25% sulfuric acid at 150 °C and a liquid/solid phase ratio of 2.5**

№	Время гидролиза, мин	Выход моно- и олигосахаридов, % от сухой массы древесины	Остаток золы % от сухой массы древесины	% от массы исходной золы	Растворимость золы, % от исходной массы золы
1	20	3,6	0,045	13,6	86,4
2	40	15,3	0,050	15,1	84,9
3	60	20,0	0,043	13,0	87,0

На основе полученных данных можно сделать вывод, что максимальный расход серной кислоты на полную нейтрализацию зольных элементов не может превышать 72,5 мг-экв или 3,55 г на 1 кг сухой массы древесины березы. При гемицеллюлозном гидролизе максимальный расход серной кислоты на нейтрализацию зольных элементов не может превышать 62,4 мг-экв или 3,1 г на 1 кг сухой массы древесины березы.

В работе Королькова [1990], при проведении гидролиза гемицеллюлоз древесины березы разбавленной серной кислотой, было показано, что снижение общего количества кислоты составило около 10 г/кг сухой массы древесины березы и 5,0 г/кг сухой массы древесины сосны, а в работе [Lloyd, Wayman, 2004] даже 20 г/кг древесины. Данные этих работ находятся в явном противоречии с полученными результатами. На взгляд авторов, увеличенный расход кислоты объясняется проведением гидролиза в металлических автоклавах при прямом контакте кислоты с металлом. По данным авторов, в результате коррозии металлических стенок автоклава из стали X18H9T, увеличение расхода серной кислоты при гидролизе древесины березы 0,25% серной кислотой при температуре 150 °С и соотношении жидкость / твердая фаза 2,5 составило более 2,75 г/кг древесины березы.

В табл. 3 приведены данные по составу основных зольных элементов после проведения гемицеллюлозного гидролиза древесины березы 0,25% серной кислотой при температуре 150 °С в течение 60 мин и соотношении жидкость / твердая фаза 2,5.

Таблица 3

**Изменение состава основных зольных элементов
при гидролизе древесины березы 0,25% серной кислотой
при температуре 150 °С и соотношении жидкость/ твердая фаза 2,5**

**Changes in the composition of the main ash elements in the hydrolysis
of be-reeze wood with 0.25% sulfuric acid at a temperature
of 150 °C and a liquid/solid phase ratio of 2.5**

Наименование	Содержание в % от исходной массы золы					
	Na ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
Исходная древесина	2,1	10,9	6,6	9,5	34,8	2,7
Остаток после гидролиза (цел- лолигнин)	3,3	1,1	0,6	3,5	4,9	4,3
Растворилось % от исходного количества	—	90,0	91,0	63,2	85,9	-

* Определение состава зольных элементов проводилось методом масс-спектрометрии с индукционно связанной плазмой в центральной лаборатории ВСЕГЕИ

Как видно из данных табл. 3, при кислотном гидролизе древесины в основном растворяются соли кальция, магния и калия, в то время как соли натрия и железа остаются без изменения.

Зольные вещества оказывают значительное влияние на процессы гидролиза полисахаридов растительных материалов и последующие процессы биохимической переработки полученных углеводов. В работе [He et al., 2014] частичное удаление или нейтрализация остатка золы серной кислотой позволило значительно увеличить выход сахаров и этанола после автогидролиза и ферментативной переработки кукурузной кочерыжки. Нейтрализация зольных элементов древесины при использовании растворов минеральных кислот высокой концентрации или с большим расходом раствора кислоты незначительно изменяет концентрацию иона гидроксония и не влияет на кинетику процесса гидролиза полисахаридов [Springer, Harris 1985]. Однако при проведении процесса гидролиза при ультранизких расходах серной кислоты, нейтрализация зольных элементов может привести к значительному снижению концентрации иона гидроксония и переходу процесса гидролиза в бескислотный режим (автогидролиз). Для исключения такого развития событий, определяющую роль в организации процесса мало-кислотного гидролиза имеет величина нейтрализующей способности золы.

Как было показано выше, при гемицеллюлозном гидролизе максимальный расход серной кислоты на нейтрализацию зольных элементов не может превышать 62,4 мг-экв или 3,1 г на 1 кг сухой массы древесины березы. Соответственно, кислотные режимы гидролиза могут быть проведены только при расходе кислоты большим, чем расход на нейтрализацию золы.

В табл. 4 приведены данные по автогидролизу древесины березы и малокислотному гидролизу 0,25% серной кислотой (180 °С, соотношение жидкость / твердая фаза 2,5). Режим малокислотного гидролиза выбран из условия 50% нейтрализации серной кислоты зольными элементами древесины.

Таблица 4

Параметры процесса автогидролиза и гидролиза 0,25% серной кислотой древесины березы (180 °С, соотношение жидкость / твердая фаза 2,5)

Parameters of autohydrolysis and hydrolysis with 0.25% sulfuric acid of birch wood (180 °С, liquid/solid ratio 2.5)

Время, мин	Содержание кислоты, г/кг сухой массы	pH экстракта	Выход моно- и олигосахаридов, % сухой массы	Константа скорости гидролиза, мин ⁻¹	Соотношение моно/ олигосахаридов	Цветность 10% экстракта при 420 нм
20	—	3,7	10,6	0,031	0,24	27,6
30	—	3,3	14,5		0,27	23,2
20	3,15	2,5	14,7	0,044	0,45	5,6
30	3,05	2,7	22,9		0,50	6,8

Как видно из данных табл. 4, даже небольшое остаточное содержание серной кислоты в древесине после нейтрализации зольных элементов, радикально меняет характер процесса гидролиза гемицеллюлоз. Так, константа скорости гидролиза по сравнению с бескислотным автогидролизом возрастает более чем на 40%. При малокислотном гидролизе соотношение моно- и олигосахаридов увеличивается почти в 2 раза, а цветность гидролизата, наоборот, снижается более чем в 4 раза.

Эти обстоятельства положительно характеризуют малокислотные режимы, для реализации которых необходим количественный учет нейтрализации кислоты зольными элементами древесины.

Выводы:

1. Зольные вещества, экстрагируемые при комнатной температуре из древесины березы, составляют: водорастворимые – 42,4%, кислоторастворимые – 63,6% от общего содержания золы.

2. Нейтрализующая способность зольных веществ древесины березы составляет: полная – 72,5 мг-экв/кг сухой массы; после водной экстракции – 34,0 мг-экв/кг; после экстракции кислотой 9,4–13,6 мг-экв/кг

3. В процессе гемицеллюлозного гидролиза древесины березы происходит удаление более 85% зольных элементов древесины, в том числе более 85% солей кальция, 90% солей магния, 90% фосфора и 63% калия.

4. Режим малокислотного гемицеллюлозного гидролиза древесины, выбранный из условия 50% нейтрализации серной кислоты зольными элементами (6,25 г / кг сухого сырья), показал значительно лучшие показатели по скорости гидролиза, содержанию моносахаридов и цветности по сравнению с автогидролизом.

Библиографический список

Корольков И.И. Перколяционный гидролиз растительного сырья / М.: Лесн. пром-сть», 1990. 272 с.

Aston J.E., Thompson D.N., Westover T.L. Performance assessment of dilute-acid leaching to improve corn stover quality for thermochemical conversion // Fuel. 2016. №186. P. 311–319. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.08.056

Bin Y., Hongzhang C. Effect of the ash on enzymatic hydrolysis of steam-exploded rice straw // Bioresour Technol. 2010. № 101. P. 9114–9119. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.07.033

Chin K.L., H'ng P.S., Paridah M.T., Szymona K., Maminski M., Lee S.H., Lum W.C., Nurliyana M.Y., Chow M.J., Go W.Z. Reducing ash related operation problems of fast growing timber species and oil palm biomass for combustion applications using leaching technique // Energy. 2015. № 90. P. 622–630. DOI: 10.1016/j.energy.2015.07.094

He Y, Fang Z, Zhang J, Li X, Bao J. De-ashing treatment of corn stover improves the efficiencies of enzymatic hydrolysis and consequent ethanol fermentation // Biore-sour Technol. 2014. № 169. P. 552–558. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.06.088

Hörhammer H., Dou C. et al. Removal of non-structural components from poplar whole-tree chips to enhance hydrolysis and fermentation performance // Biotechnol Biofuels. 2018. № 11. P. 222–234. doi.org/10.1186/s13068-018-1219-4

Lambert M.J. Inorganic constituents in wood and bark. Forestry commission of new south wales // Sydney, 1981. 45 p.

Lloyd T.A., Wayman C.E. Predicted effects of mineral neutralization and bisulfate formation on hydrogen ion concentration for dilute sulfuric acid pretreatment // Appl. Biochem. Biotech. 2004. № 115. P. 1013–1022. DOI: 10.1385/ABAB:115:1-3:1013

Rowell R.M. Handbook of wood chemistry and wood composites // Wisconsin – Madison, 2005. 703 p. DOI: 10.1201/b12487

Santucci B.S., Maziero P., Rabelo S.C., Curvelo A.S., Pimenta M.B. Autohydrolysis of Hemicelluloses from Sugarcane Bagasse During Hydrothermal Pretreatment: a Kinetic Assessment // *BioEnergy Research*. 2015. №8. P. 1778–1787. DOI 10.1007/s12155-015-9632-z

Springer E.L., Harris J.F. Procedures for Determining the Neutralizing Capacity of Wood during Hydrolysis with Mineral Acid Solutions // *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.* 1985. № 24. P. 485–489

References

Aston J.E., Thompson D.N., Westover T.L. Performance assessment of dilute-acid leaching to improve corn stover quality for thermochemical conversion. *Fuel*, 2016, no. 186, pp. 311–319. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.08.056

Bin Y., Hongzhang C. Effect of the ash on enzymatic hydrolysis of steam-exploded rice straw. *Bioresour Technol.*, 2010, no. 101, pp. 9114–9119. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.07.033

Chin K.L., H'ng P.S., Paridah M.T., Szymona K., Maminski M., Lee S.H., Lum W.C., Nurliyana M.Y., Chow M.J., Go W.Z. Reducing ash related operation problems of fast growing timber species and oil palm biomass for combustion applications using leaching technique. *Energy*, 2015, no. 90, pp. 622–630. DOI: 10.1016/j.energy.2015.07.094

He Y., Fang Z., Zhang J., Li X., Bao J. De-ashing treatment of corn stover improves the efficiencies of enzymatic hydrolysis and consequent ethanol fermentation. *Bioresour Technol.*, 2014, no. 169, pp. 552–558. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.06.088

Hörhammer H., Dou C. et al. Removal of non-structural components from poplar whole-tree chips to enhance hydrolysis and fermentation performance. *Biotechnol Biofuels*, 2018, no. 11, pp. 222–234. doi.org/10.1186/s13068-018-1219-4

Korolkov I. I. Percolation hydrolysis of vegetable raw materials, M.: Forest industry, 1990. 272 p. (In Russ.)

Lambert M.J. Inorganic constituents in wood and bark. Forestry commission of new south wales. Sydney, 1981. 45 p.

Lloyd T.A., Wayman C.E. Predicted effects of mineral neutralization and bisulfate formation on hydrogen ion concentration for dilute sulfuric acid pretreatment. *Appl. Biochem. Biotech.*, 2004, no. 115, pp. 1013–1022. DOI:10.1385/ABAB:115:1-3:1013

Rowell R.M. Handbook of wood chemistry and wood composites. Wisconsin – Madison, 2005. 703 p. DOI: 10.1201/b12487

Santucci B.S., Maziero P., Rabelo S.C., Curvelo A.S., Pimenta M.B. Autohydrolysis of Hemicelluloses from Sugarcane Bagasse During Hydrothermal Pretreatment: a Kinetic Assessment. *BioEnergy Research*, 2015, no. 8, pp. 1778–1787. DOI 10.1007/s12155-015-9632-z

Springer E.L., Harris J.F. Procedures for Determining the Neutralizing Capacity of Wood during Hydrolysis with Mineral Acid Solutions. *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, 1985, no. 24, pp. 485–489.

Материал поступил в редакцию 18.11.2021

Сизов А.И., Гончарова В.А., Пименов С.Д., Бахтиярова А.В. Поведение зольных элементов древесины в процессе кислотного гидролиза древесины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 241. С. 244–255. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.241.244-255

Минеральные вещества, помимо большого физиологического значения в развитии растений, оказывают значительное влияние на процессы химической и термохимической переработки древесины. В особенности, это важно при проведении кислотных гидролитических процессов углеводного комплекса и связанных с этим процессами нейтрализации кислоты зольными элементами растительных материалов. Исследование поведения зольных элементов древесины в процессе кислотного гидролиза древесины явилось целью настоящей работы. В работе было показано, что зольные вещества древесины березы легко экстрагируются водой и слабыми растворами кислот при комнатной температуре. При этом водорастворимые вещества составляют 42,4%, а кислоторастворимые – 63,6% от общего содержания золы в древесине. Анализ способности зольных веществ древесины березы к нейтрализации кислоты показал, что полная нейтрализация составляет 72,5 мг-экв/кг сухой массы (3,55 г серной кислоты на 1 кг древесины); после водной экстракции – 34,0 мг-экв/кг, а после экстракции растворами кислоты – 9,4–13,6 мг-экв/кг. При проведении гемицеллюлозного гидролиза древесины березы происходит удаление более 85% массы зольных элементов древесины, в том числе более 85% солей кальция, 90% солей магния, 90% фосфора и 63% калия. Нейтрализующая способность золы при этом составила 62,4 мг-экв/кг сухой массы (3,1 г серной кислоты на 1 кг древесины). Выбранный на основании полученных данных режим малокислотного гемицеллюлозного гидролиза древесины, при условии 50% нейтрализации серной кислоты зольными элементами (6,25 г/кг сухого сырья), показал значительно лучшие показатели по скорости гидролиза, содержанию моносахаридов и цветности экстракта по сравнению с автогидролизом.

Ключевые слова: зольные вещества, малокислотный гидролиз, нейтрализация кислоты.

Goncharova V.A., Pimenov S.D., Bakhtiarova A.V., Sizov A.I. The behavior of ash elements of wood in the process of acid hydrolysis of wood. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2022, iss. 241, pp. 244–255 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2022.241.244-255

Mineral substances, in addition to their great physiological significance in the development of plants, have a significant effect on the processes of chemical and thermochemical processing of wood. In particular, this is important when carrying out acidic hydrolytic processes of the carbohydrate complex and associated processes of acid neutralization with ash elements of plant materials. The study of the behavior of ash elements of wood in the process of acid hydrolysis of wood was the goal of this work. It was shown in the work that the ash substances of birch wood are easily extracted with water and weak acid solutions at room temperature. At the same time, water-soluble substances make up 42.4%, and acid-soluble ones – 63.6% of the total ash content in wood. Analysis of the ability of ash substances of birch wood to neutralize acid showed that complete neutralization is – 72.5 mg-eq/kg dry weight (3.55 g of sulfuric acid per 1 kg of wood); after water extraction – 34.0 mEq/kg, and after extraction with acid solutions – 9.4-13.6 mEq/kg. When carrying out hemicellulose hydrolysis of birch wood, more than 85% of the mass of ash elements of the wood is removed, including more than 85% of calcium salts, 90% of magnesium salts, 90% of phosphorus and 63% of potassium. At the same time, the neutralizing ability of ash was 62.4 mg-eq/kg of dry weight (3.1 g of sulfuric acid per 1 kg of wood). The mode of low-acid hemicellulose hydrolysis of wood, selected on the basis of the data obtained, under the condition of 50% neutralization of sulfuric acid with ash elements (6.25 g/kg of dry raw materials). Showed significantly better indicators in terms of the rate of hydrolysis, the content of monosaccharides and the color of the extract in comparison with autohydrolysis.

Key words: ash substances, low acid hydrolysis, acid neutralization.

ГОНЧАРОВА Виктория Алексеевна – студент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. ORCID: 0000-0002-9546-4275

194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: Goncharova800@mail.ru

GONCHAROVA Victoria A. – student in the Department of technology of wood chemical products, wood chemistry and biotechnology, St.Petersburg state Forest Technical University. ORCID: 0000-0002-9546-4275

194021, Institute al. 5. St. Petersburg, Russia. E-mail: Goncharova800@mail.ru

ПИМЕНОВ Сергей Дмитриевич – аспирант Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. ORCID: 0000-0001-6042-0021, ResearcherID: AAC-9435-2020

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, E-mail: chudopim@mail.ru

PIMENOV Sergey D., – PhD student; St.Petersburg State Forest Technical University. ResearcherID: AAC-9435-2020, ORCID: 0000-0001-6042-002194021. Institute al. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: chudopim@mail.ru

БАХТИЯРОВА Анна Валерьевна – старший преподаватель кафедры технологии лесохимических продуктов, химии древесины и биотехнологии Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. ORCID 0000-0002-0480-3156

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, E-mail: nyroc@rambler.ru

БАХТИЯРОВА Anna V. – senior lecturer of the Department of technology of wood chemical products, wood chemistry and biotechnology, St.Petersburg state Forest Technical University. ORCID 0000-0002-0480-3156.

194021. Institute al. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: nyroc@rambler.ru,

СИЗОВ Александр Иванович – ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. ORCID: 0000-0001-9412-5557, ResearcherID: AAI-2030-2020.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: sizov.alex@gmail.com

SIZOV Alexander I. – PhD (Technical), Senior Scientist St. Petersburg state Forest Technical University. ORCID: 0000-0001-9412-5557, ResearcherID: AAI-2030-2020.

194021. Institute al. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: sizov.alex@gmail.com