

Э.И. Евстигнеев

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ АНАЛИЗА КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ

Введение. Ранее нами разработан метод определения общего содержания полисахаридов в растительном сырье и препаратах лигнина [Евстигнеев, 2016], а также метод определения нецеллюлозных полисахаридов в древесине хвойных и лиственных пород [Евстигнеев, 2018]. Целью данной работы является разработка схемы анализа компонентного состава древесины лиственницы с использованием указанных методов. Кроме того, предложен новый метод определения арабиногалактана.

Методика исследования. Исследовали образцы древесины лиственницы (*Larix sibirica* L.), отобранные в районе Братского ЛПК. Древесину измельчали до опилок и фракционировали на ситах. Отбирали фракции опилок – проходящую через сито с размером ячеек 0,5 мм и остающуюся на сите с размером ячеек 0,25 мм. Опилки экстрагировали этиловым спиртом в течение 6 ч.

• *Определение целлюлозы* проводили азотно-спиртовым методом (методом Кюршнера) [Kürschner, Hoffer, 1929; Оболенская и др., 1991]. Проводили четыре последовательные обработки. Выделенную из древесины целлюлозу Кюршнера отфильтровывали на стеклянном пористом фильтре ПС-2 (размеры пор 40–100 мкм).

• *Содержание остаточных пентозанов* в целлюлозе Кюршнера определяли бромид-броматным полумикрометодом [Оболенская и др., 1991]. Выход фурфурола, в % к абс. сухому образцу, рассчитывали по формуле

$$F = \frac{(a - b) \cdot 100 \cdot 0,0012}{25g} \cdot 100,$$

где a – расход на контрольное титрование раствора тиосульфата натрия концентрацией 0,05 моль/дм³, см³; b – расход на титрование дистиллята раствора тиосульфата натрия концентрацией 0,05 моль/дм³, см³; 0,0012 – масса фурфурола, соответствующая 1 см³ раствора тиосульфата натрия концентрацией 0,05 моль/дм³, г; g – масса абсолютно сухой навески образца, г. Коэффициент пересчета фурфурола на пентозаны 1,56.

• *Определение экстрактивных веществ.* Образец древесины (5 г) с размером частиц 0,25 мм экстрагировали этиловым спиртом (95%) в аппарате Сокслета в течение 6 ч (30 сливов) и после отгонки растворителя на роторном испарителе и сушки колбы определяли содержание экстрактивных веществ.

• *Определение кислотонерастворимого лигнина* (лигнина Класона). К обессмоленному образцу (1 г) добавляли 15 см³ 72% H₂SO₄ и выдерживали при температуре 25 °С в течение 2,5 ч при периодическом перемешивании. По истечении указанного времени смесь переносили в колбу объемом 500 см³, добавляли 200 см³ дистиллированной воды и кипятили с обратным холодильником в течение 1 ч. Поскольку при анализе по описанной методике образуются очень мелкодисперсные осадки, проходящие через пористые стеклянные фильтры, для определения кислотонерастворимого лигнина (лигнина Класона) во всех образцах использовали известный методический прием [Оболенская и др., 1991]. Раствор с осадком лигнина фильтровали через сложенные вместе два уравновешенных на аналитических весах бумажных фильтра. Осадок лигнина и фильтры промывали водой из промывалки до полного удаления кислоты. Фильтры с лигнином сушили при температуре 103 ± 2 °С до постоянной массы и взвешивали, помещая верхний фильтр (с лигнином) на левую чашку аналитических весов, а нижний – на правую. Здесь важно отметить, что фильтрат для последующего анализа на содержание кислоторастворимого лигнина и полисахаридов отбирали до стадии промывки.

• *Кислоторастворимый лигнин* (КРЛ) определяли по методике из работы [Swan, 1965] при длине волны 192 нм. После разбавления фильтрата в 10 раз записывали УФ-спектр в 1 см кюветах на спектрофотометре UV-2400PC Series фирмы Shimadzu. УФ-спектр фильтра древесины лиственницы приведен на рис. 1.

Содержание КРЛ, в % к абс. сухому исходному (необессмоленному) образцу, рассчитывали по формуле

$$\text{КРЛ} = \frac{DK_d V}{\varepsilon 1000g} K_e \cdot 100,$$

где D – оптическая плотность; K_d – коэффициент разбавления; V – объем гидролизата, см³; ε – удельный коэффициент поглощения, л·г⁻¹·см⁻¹; g – масса абсолютно сухой навески образца, г; K_e – коэффициент экстрагирования.

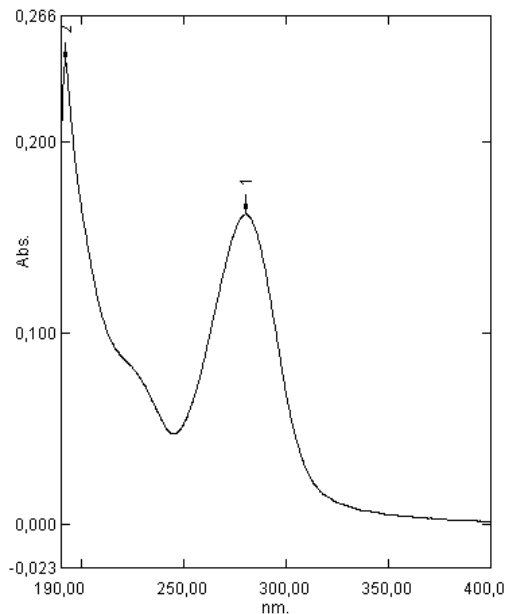


Рис. 1. УФ-спектр кислоторастворимого лигнина древесины лиственницы
 Fig. 1. UV spectrum of acidsoluble lignin of a larch wood

• *Определение общего содержания полисахаридов* [Евстигнеев, 2016]. Для определения полисахаридов 0,25 см³ гидролизата (фильтрата), предварительно разбавленного в 10 раз, помещали в пробирку, вносили 1 см³ раствора свежеперегнанного фенола с концентрацией 0,6 моль·л⁻¹ и 5 см³ концентрированной H₂SO₄ («хч»), горячий раствор выдерживали в течение 10 мин, а затем охлаждали в течение 10 мин при температуре 25 °С. Затем в 1 см кюветах записывали УФ-спектр, используя в качестве раствора сравнения те же реагенты и в тех же концентрациях, что и в рабочем растворе, за исключением того, что вместо гидролизата добавляли 0,25 см³ дистиллированной воды. УФ-спектры записаны на спектрофотометре UV-2400PC Series фирмы Shimadzu. УФ-спектр гидролизата древесины лиственницы приведен на рис. 2.

Содержание полисахаридов, в % к абс. сухому исходному (необессмоленному) образцу растительного сырья, рассчитывали по формуле

$$C = \frac{DK_d M_m V K_p}{\epsilon_c \cdot 1000 g} K_e \cdot 100,$$

где D – оптическая плотность; K_d – коэффициент разбавления; M_m – молярная масса моносахарида, г·моль⁻¹ (гексозы 180,16, пентозы 150,13); V –

объем гидролизата, см^3 ; K_p – коэффициент пересчета моносахаридов в полисахариды (для гексозанов 0,9, для пентозанов 0,88); ε_c – средний молярный коэффициент экстинкции, $\text{л}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$; g – масса абсолютно сухой навески образца, г; K_e – коэффициент экстрагирования.

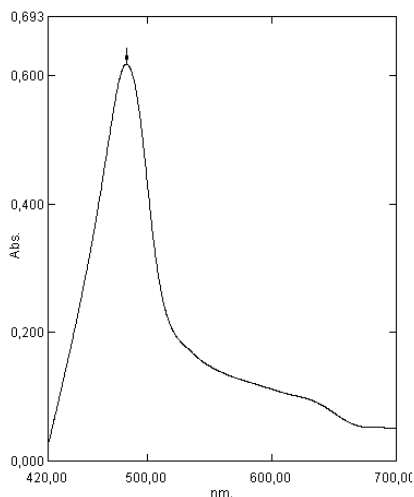


Рис. 2. УФ-спектр гидролизата древесины лиственницы после взаимодействия с фенолом в присутствии серной кислоты.

Fig. 2. The UV spectrum of a hydrolyzate of a larch wood after interaction with phenol in the presence of sulfuric acid.

- *Содержание нецеллюлозных полисахаридов* определяли по разности между общим содержанием полисахаридов и содержанием «чистой» целлюлозы.
- *Содержание золы* определяли после сжигания и прокаливания образца при $600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Результаты исследования. Общее содержание полисахаридов определяли с помощью разработанной ранее методики, в основе которой лежит способность моносахаридов в гидролизатах полисахаридов образовывать окрашенные соединения с фенолом в присутствии H_2SO_4 [Евстигнеев, 2016]. Используя образцы древесины с известным содержанием полисахаридов и исходя из состава моносахаридов, определяли средние значения молярных коэффициентов экстинкции для гидролизатов хвойной и лист-

венной древесины (ϵ_c). Затем рассчитывали содержание полисахаридов и сопоставляли его с известным значением. Установлено, что относительная ошибка определения составляет 0,3–3,2%.

Дополнительную проверку правильности разработанного метода проводили при изучении компонентного состава образцов древесины, имеющих промышленное значение [Евстигнеев, 2018]: ели, сосны, осины и березы, сравнивая полученные результаты со значениями общего выхода РВ из [Шарков и др., 1976] в пересчете на полисахариды. Относительная ошибка определения составила для древесины ели 4,06%, сосны 4,76%, осины 3,62%, березы 0,61%.

По этой же методике определяли общее содержание полисахаридов в древесине лиственницы. Оно составило 65,61%. Величину оптической плотности для расчета в вышеприведенном уравнении определяли из УФ-спектра (рис. 2, табл. 1). Среднее значение молярного коэффициента экстинкции для гидролизата древесины лиственницы $\epsilon_c = 6730$ использовано потому, что содержание арабиногалактана в ней 13,5%, что составляет от нецеллюлозных полисахаридов $13,5 : 26,5 \cdot 100 = 50,9\%$. Соотношение арабинозы и галактозы в арабиногалактане составляет 1 : 6, т. е. основным моносахаридом в гидролизате древесины лиственницы является галактоза. Молярный коэффициент экстинкции для галактозы равен $6729 \text{ л}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$ [Евстигнеев, 2016]. Относительная ошибка определения составила 0,88%.

Таблица 1

Оптические характеристики гидролизата древесины лиственницы
Optical characteristics of a hydrolyzate of a larch wood

Гидролизат	$\lambda_{\text{макс}}$, нм	ϵ_c , л·моль ⁻¹ ·см ⁻¹
<i>Larix sibirica</i> L.	483,6	6730

Содержание нецеллюлозных полисахаридов определяли по разности между общим содержанием полисахаридов и содержанием «чистой» целлюлозы. Для этой цели азотноспиртовым методом (методом Кюршнера) выделяли «сырую» целлюлозу и определяли в ней содержание остаточных нецеллюлозных полисахаридов с использованием бромид-броматного полумикрометода (табл. 2).

Точность метода определения суммы нецеллюлозных полисахаридов подтвердили путем анализа образцов древесины, в которых содержание нецеллюлозных полисахаридов установлено независимым (хроматографическим) методом [Евстигнеев, 2016]. Ошибка определения не превышала 4,3%.

Таблица 2

**Содержание целлюлозы и нецеллюлозных полисахаридов
в древесине лиственницы, %**

Content of cellulose and not cellulose polysaccharides in a larch wood, %

«Сырая» целлюлоза	Остаточные пентозаны	Целлюлоза	Нецеллюлозные полисахариды
42,08	2,99	39,09	26,52

Разработанная схема анализа основных компонентов древесины лиственницы приведена на рис. 3. Она предусматривает определение таких компонентов, как полисахариды, целлюлоза, нецеллюлозные полисахариды, лигнин, экстрактивные вещества и зола. В отличие от известных схем анализа химического состава древесины, она содержит новую стадию, а именно – определение общего содержания полисахаридов фотоколориметрическим методом. Обычно для этой цели используют определение холоцеллюлозы, однако известные методы не позволяют выделить все полисахариды, поскольку в процессе выделения часть из них неизбежно утрачивается.

Зная общее содержание полисахаридов, можно определить содержание нецеллюлозных полисахаридов. Такой подход имеет явное преимущество, по сравнению с традиционно используемым определением отдельно гемицеллюлоз и отдельно водорастворимых полисахаридов, так как в этом случае происходит потеря части полисахаридов.

Результаты определения компонентного состава древесины лиственницы по данной схеме представлены в табл. 3.

Здесь важно указать, что при подробном изучении компонентного состава древесины кроме основных компонентов определяют также уронные кислоты и ацетильные группы. В древесине лиственницы содержание уронных кислот составляет 3,2–3,9%, а содержание ацетильных групп 1,40–1,42% [Шарков и др., 1976]. Если суммировать эти значения с данными табл. 3, то сумма компонентов приближается к 100%. Иными словами, полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что разработанная схема анализа достоверно отражает компонентный состав древесины лиственницы.

В состав нецеллюлозных полисахаридов древесины лиственницы наряду с другими полисахаридами входит арабиногалактан, содержание которого может достигать в отдельных видах до 30% от древесины [Никитин, 1951]. Поэтому данные о количестве арабиногалактана имеют важное теоретическое и практическое значение для решения проблемы биорефайнинга лиственницы. Традиционно для этой цели используют водную экстракцию древесины лиственницы с последующим осаждением арабиногалактана этанолом. Основным недостатком метода является осаждение совместно с арабиногалактаном различных примесей, что снижает точность определения.



Рис. 3. Схема определения компонентов древесины лиственницы

Fig. 3. Scheme of determination of components of a larch wood

Таблица 3

Компонентный состав древесины лиственницы

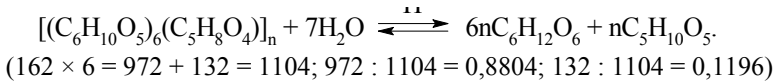
Component composition of a larch wood

Компонент	Содержание компонента, %
Целлюлоза	39,09
Нецеллюлозные полисахариды	26,52
Сумма полисахаридов	65,61
Лигнин Класона	24,95
Кислоторастворимый лигнин	0,44
Всего лигнина	25,39
Экстрактивные вещества	7,39
Зола	0,16
Сумма компонентов	98,55

При разработке нового метода количественного определения арабино-галактана мы исходили из того, что он является легкогидролизуемым по-

лисахаридом и при полном гидролизе из него образуются галактоза и арабиноза в соотношении 6:1 [Евстигнеев, 2012].

Теоретическое значение содержания редуцирующих веществ (РВ) в гидролизате арабиногалактана можно рассчитать из уравнения



Из уравнения следует, что в 1 г арабиногалактана содержится 0,8804 г ангидрогалактопиранозы. В результате гидролиза из нее образуется $180/162 \times 0,8804 = 0,9782$ г галактопиранозы. В 1 г арабиногалактана содержится 0,1196 г ангидроарабинофуранозы. В результате гидролиза из нее образуется $150/132 \times 0,1196 = 0,1359$ г арабинофуранозы. Тогда при гидролизе 1%-го раствора арабиногалактана теоретическое значение РВ = $0,9782 + 0,1359 = 1,1141\%$.

Экспериментальная проверка этого значения проводилась с использованием модельных растворов индивидуальных моносахаридов (галактопиранозы и арабинофуранозы) и их смеси. Она показала, что при концентрации галактопиранозы 0,5% по результатам трех параллельных определений РВ составляет 0,484%, т. е. 0,968 от фактического содержания. Для арабинофуранозы при такой же концентрации РВ = 0,5456%, т. е. 1,0912 от фактического содержания. Значение РВ смеси галактозы и арабинозы в соотношении 6:1 составило 0,498%, т. е. 0,996 от фактического содержания. Таким образом, теоретическое и экспериментальное значения РВ ($1,1141 \times 0,996 = 1,1096$) практически совпадают. Можно считать, что 1% арабиногалактана соответствует 1,1% РВ в гидролизате арабиногалактана.

Выделенные препараты арабиногалактана исследовались в соответствии со стандартной процедурой, принятой для определения легкогидролизуемых полисахаридов [Оболенская и др., 1991]. Препарат АГ-1 выделяли экстракцией водой из опилок древесины лиственницы при комнатной температуре в течение 1,5 ч, экстракт вносили в 6-кратный объем этилового спирта, арабиногалактан отфильтровывали и сушили в вакуумном шкафу при 50°C. Препарат АГ-2 выделяли по аналогичной методике, за исключением того, что время экстракции составило 24 ч.

1%-й раствор арабиногалактана в 2%-й HCl кипятили с обратным холодильником в течение 1 ч. Полученный гидролизат охлаждали и по методу Макэна и Шоорля [Оболенская и др., 1991] определяли в нем массовую долю РВ, которая составила по результатам двух параллельных определений для препарата АГ-1 0,95%, для препарата АГ-2 0,90%. Отклонение полученных значений от теоретического объясняется, по-видимому, тем, что

даже в мягких условиях выделения совместно с арабиногалактаном растворяются примеси, которые осаждаются совместно с ним в спирте и не обладают редуцирующей способностью.

Изменение значений РВ при продолжительности гидролиза 30, 60, 90 и 120 мин для препарата АГ-1 составило, соответственно, 0,85, 0,95, 0,94 и 0,93%, т. е. оптимальной продолжительностью гидролиза является 1 ч. Увеличение концентрации HCl от 2 до 4% при этой продолжительности гидролиза не повлияло на значение РВ.

Таким образом, оптимальными условиями процесса гидролиза арабиногалактана являются: концентрация кислоты 2%, продолжительность 1 ч.

На основании полученных результатов проводилась разработка метода количественного определения арабиногалактана в древесине лиственницы. Арабиногалактан определяли также по уменьшению массы образца после экстракции водой, по содержанию сухих веществ в экстракте, по количеству «сырого» арабиногалактана, осажденного спиртом из экстракта, по количеству арабиногалактана, осажденного спиртом из экстракта, с учетом степени чистоты (по результатам гидролиза 2%-й HCl и определения РВ в гидролизате). Далее представлены условия проведения экспериментов и полученные результаты.

Экстракция древесины лиственницы. Древесину лиственницы (48,1 г в расчете на абсолютно сухую древесину) в виде муки (фракция с размером частиц < 0,125 мм) непрерывно экстрагировали горячей водой в аппарате Сокслетта в течение 5 ч (30 сливов). Объем экстракта составил 325 см³.

Определение арабиногалактана по уменьшению массы муки после экстракции. Муку после экстракции высушивали на воздухе, а затем в отдельной пробе определяли ее влажность и рассчитывали уменьшение массы. Оно составило 18,96%.

Определение арабиногалактана по содержанию сухих веществ в экстракте. 50 см³ экстракта помещали в выпарную чашку, выпаривали воду на водяной бане, сушили сухой остаток до постоянной массы при температуре 103± 2°С в сушильном шкафу и рассчитывали количество сухого остатка по отношению к массе исходной абсолютно сухой древесины. Оно составило 17,62%.

Определение арабиногалактана по количеству «сырого» арабиногалактана, осажденного спиртом из экстракта. 165 см³ экстракта высаживали в 6-кратный объем 96%-го этилового спирта и оставляли на ночь для полного осаждения арабиногалактана. Осажденный арабиногалактан отфильтровывали на стеклянном пористом фильтре, промывали этиловым спиртом, тщательно удаляя остатки растворителя, сушили в вакуумном сушильном

шкафу при температуре 50°C в течение 48 ч и рассчитывали выход арабиногалактана по отношению к массе исходной абсолютно сухой древесины. Получено 8,23 г (17,11%) арабиногалактана.

Определение арабиногалактана по содержанию редуцирующих веществ (РВ) в экстракте после гидролиза 2%-й HCl. К 100 см³ экстракта добавляли 100 см³ 4%-й HCl, с тем чтобы гидролиз проходил в 2%-й HCl. Гидролиз проводили при температуре кипения раствора в течение 1 ч в колбе, снабженной обратным холодильником. По окончании гидролиза колбу охлаждали до комнатной температуры проточной водой и в гидролизате определяли РВ. Содержание редуцирующих веществ составило 1,195%. Учитывая, что в процессе экстракции древесины лиственницы горячей водой могут извлекаться редуцирующие вещества, не являющиеся арабиногалактаном, в экстракте до гидролиза также определяли содержание РВ. Оно составило 0,17%. Содержание арабиногалактана, % к абсолютно сухой древесине лиственницы, рассчитывали по формуле для определения легкогидролизуемых полисахаридов [Оболенская и др., 1991].

$$X_{AG} = \frac{c_{AG} V n k_d}{g 100},$$

где c_{AG} – массовая доля РВ в гидролизате арабиногалактана, %; V – объем экстракта, см³; n – разбавление экстракта при гидролизе; k_d – коэффициент пересчета моносахаридов в полисахариды (0,9); g – масса абсолютно сухой навески древесины, г.

Содержание арабиногалактана, рассчитанное по этой формуле, составило 14,53%. Содержание легкогидролизуемых веществ в экстракте до гидролиза рассчитывали по такой же формуле, за исключением того, что в ней не учитывалось разбавление (n), поскольку оно не проводилось. Содержание таких веществ составило 1,03%. С учетом этой поправки содержание арабиногалактана составило 13,50%.

Определение арабиногалактана по количеству арабиногалактана, осажденного спиртом из экстракта, с учетом степени чистоты (по результатам гидролиза 2%-й HCl и определения РВ в гидролизате). 2 г арабиногалактана, осажденного спиртом из экстракта, гидролизовали 200 см³ 2%-й HCl при температуре кипения раствора в течение 1 ч в колбе, снабженной обратным холодильником. По окончании гидролиза колбу охлаждали до комнатной температуры проточной водой и в гидролизате определяли РВ (0,891%). Содержание «чистого» арабиногалактана в исследуемом образце рассчитывали по приведенной выше формуле, за исключением того, что в ней не учитывалось разбавление (n), поскольку оно не проводилось. Содержание «чистого»

арабиногалактана составило 80,19%. С учетом этой поправки содержание арабиногалактана, в % к абсолютно сухой древесине лиственницы, составило 13,72%. Все полученные результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты определения арабиногалактана в древесине лиственницы различными методами

Results of determination of an arabinogalactan in a wood larch by various methods

Метод определения	Содержание арабиногалактана, % к а.с. древесине
По уменьшению массы муки после экстракции	18,96
По содержанию сухих веществ в экстракте	17,62
По количеству «сырого» арабиногалактана, осажденного спиртом из экстракта	17,11
По содержанию редуцирующих веществ (РВ) в экстракте после гидролиза 2%-й HCl	13,50
По количеству арабиногалактана, осажденного спиртом из экстракта, с учетом степени чистоты (по результатам гидролиза 2%-й HCl и определения РВ в гидролизате)	13,72

Результаты исследования. Традиционно используемый метод определения арабиногалактана, основанный на его осаждении из водных экстрактов этиловым спиртом, дает значительно завышенные результаты по сравнению с методом, основанным на гидролизе и определении РВ. При осаждении спиртом совместно с арабиногалактом осаждаются вещества, не способные к гидролизу и не обладающие редуцирующей способностью, о чем свидетельствуют близкие значения количества «сырого» арабиногалактана и количества сухих веществ в водном экстракте, с одной стороны, и количество «чистого» арабиногалактана – с другой.

Исходя из химического состава древесины хвойных пород [Евстигнеев, 2012], можно предположить, что в процессе экстракции древесины лиственницы горячей водой помимо арабиногалактана растворяются таннины, белки, флавоноиды (в том числе дигидрокверцетин), пектиновые вещества и гликозиды. Не исключено также, что при высокой температуре в воде могут частично диспергироваться древесные смолы, в состав которых входят смоляные и высшие жирные кислоты, жиры, воски и фитостерин.

Практически полное совпадение результатов определения арабиногалактана с использованием гидролиза экстракта с последующим определе-

нием РВ в гидролизате с результатами определения арабиногалактана традиционным методом с учетом степени его чистоты показывает, что разработанный метод обладает высокой селективностью к определяемому компоненту древесины в присутствии большого количества примесей, в связи с чем он может быть рекомендован для количественного определения арабиногалактана как в водных растворах, так и в древесине.

Дополнительно исследовалось влияние размера частиц древесины лиственницы на экстракцию арабиногалактана водой при кипячении с обратным холодильником в течение различных промежутков времени (навеска 10 г, гидромодуль 1 : 25). Содержание арабиногалактана в экстракте определяли с помощью описанной выше методики, по содержанию редуцирующих веществ. За 100% принято значение, полученное при экстракции муки древесины лиственницы в течение 5 ч в аппарате Сокслета (13,5%). Результаты представлены в табл. 5.

Как показывают полученные результаты, наиболее полная экстракция арабиногалактана происходит из фракции опилок < 0,125 мм, а при увеличении размера опилок в 2 и более раза выход арабиногалактана кардинально уменьшается (~ в 2 раза) независимо от продолжительности экстракции. Оптимальными условиями экстракции арабиногалактана являются: фракция < 0,125 мм, продолжительность 2 ч. С практической точки зрения экстракцию удобнее проводить при комнатной температуре. В этих условиях (2 ч) содержание арабиногалактана, в % к а.с. древесине, составило 12,43%, а выход арабиногалактана, в % к арабиногалактану в а.с. древесине, 92,07%.

Таблица 5

Влияние размера частиц на экстракцию арабиногалактана из древесины лиственницы
Influence of the size of particles on extraction of an arabinogalactan from larch wood

№ п/п	Фракция опилок, мм	Продолжительность экстракции, ч	Содержание АГ, % к а.с. древесине	Выход АГ, % к АГ в а.с. древесине
1		1	11,38	84,30
2	< 0,125 (мука)	2	13,34	98,81
3		13,29	97,70	
4	0,25–0,5	2	8,06	59,70
5		3	7,97	59,03
6	0,5–1,0	1	7,20	53,33
7		3	7,41	54,89
8	35×20×2 (щепа)	3	0,84	6,22

Выводы. Фотоколориметрический метод, основанный на цветной реакции моносахаридов с фенолом в присутствии серной кислоты, позволяет относительно просто и достаточно надежно количественно определять полисахариды в древесине лиственницы. Относительная ошибка определения составляет менее 1%.

Результаты анализа образцов с известным содержанием нецеллюлозных полисахаридов показывают, что разработанный метод позволяет определять указанные компоненты с высокой точностью (относительная ошибка определения не превышает 4,3%).

Предложенная в работе схема дает возможность достаточно полно охарактеризовать компонентный состав древесины лиственницы, не прибегая к использованию специального оборудования.

Разработанный метод определения арабиногалактана в древесине лиственницы позволил установить, что традиционный метод дает завышенные результаты.

Библиографический список

Евстигнеев Э.И. Определение полисахаридов в растительном сырье и препаратах лигнина // *Химия растительного сырья*. 2016. №2. С. 5–11.

Евстигнеев Э.И. Определение нецеллюлозных полисахаридов и других компонентов в растительном сырье // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2018. Вып. 225. С. 248–259.

Евстигнеев Э.И. Путь волокна. Значение структуры древесины в технологии волокнистых полуфабрикатов и бумаги. СПб.: Из-во Химиздат, 2012. 308 с.

Никитин Н.И. Химия древесины и целлюлозы. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1951. 578 с.

Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.

Шарков В.И., Куйбина Н.И., Соловьева Ю.П., Павлова Т.А. Количественный химический анализ растительного сырья. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 72 с.

Kürschner, K.; Hoffer, A. Ein neues Verfahren zur Bestimmung der Cellulose in Hölzern und Zellstoffen // *Tech. Chem. Pap. Zellst. Fabr.* 1929. 26. P. 125–129.

Swan B. Isolation of acidsoluble lignin from the Klason lignin determination // *Svensk Papperstidn.* 1965. Vol. 68, no. 22. P. 791–795.

References

Evstigneyev E.I. Opredelenie polisacharidov v rastitel'nom syr'je i preparatakh lignina [Quantification of noncellulosic polysaccharides and other components in vegetable raw materials]. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*, 2016, no. 2, pp. 5–11. (In Russ.)

Evstigneyev E.I. Opredelenie netsellyuloznykh polisacharidov i drugikh componentov v rastitel'nom syr'ye [Determination of not cellulose polysaccharides and

other components in vegetable raw materials]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2018, is. 225, pp. 248–259. (In Russ.)

Evstigneyev E.I. Put' volokna. Znachenie struktury drevesiny v technologii voloknistykh polufabrikatov i bumagi [Way of fiber. Value of wood structure in pulp and paper technology]. SPb.: Izd-vo Khimizdat, 2012. 308 p. (In Russ.)

Nikitin N.I. Khimiya drevesiny i tsellyulozy [Chemistry of wood and cellulose] M., L.: Izd-vo AN SSSR, 1951. 578 p. (In Russ.).

Obolenskaya A.V., Elnitskaya Z.P., Leonovich A.A. Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy [Laboratory works on chemistry of wood and cellulose]. M.: Ekologiya, 1991. (In Russ.)

Sharkov V.I., Kuybina N.I., Solovyeva Yu.P., Pavlova T.A. Kolichestvennyi khimicheskiy analiz rastitelnogo syr'ya [Quantitative chemical analysis of vegetable raw materials]. M.: Lesn. prom-st, 1976. (In Russ.)

Kürschner, K.; Hoffer, A. Ein neues Verfahren zur Bestimmung der Cellulose in Hölzern und Zellstoffen. *Tech. Chem. Pap. Zellst. Fabr.*, 1929, 26, pp. 125–129.

Swan B. Isolation of acidsoluble lignin from the Klason lignin determination. *Svensk Papperstidn*, 1965, vol. 68, no. 22. pp. 791–795.

Материал поступил в редакцию 29.06.2019

Евстигнеев Э.И. Совершенствование схемы анализа компонентного состава древесины лиственницы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 230. С. 200–214. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.230.200-214

Разработана схема анализа компонентного состава лиственницы, предусматривающая определение таких компонентов, как полисахариды, целлюлоза, нецеллюлозные полисахариды, лигнин, экстрактивные вещества и зола. В отличие от известных схем анализа химического состава древесины, она содержит новую стадию, а именно – определение общего содержания полисахаридов фотоколориметрическим методом. Обычно для этой цели используют определение холоцеллюлозы, однако известные методы не позволяют выделить все полисахариды, поскольку в процессе выделения часть из них неизбежно утрачивается. Зная общее содержание полисахаридов, можно определить содержание нецеллюлозных полисахаридов. Такой подход имеет явное преимущество, по сравнению с традиционно используемым определением отдельно гемицеллюлоз и отдельно водорастворимых полисахаридов, так как в этом случае происходит потеря части полисахаридов. Предложенная схема дает возможность достаточно полно охарактеризовать компонентный состав древесины лиственницы, не прибегая к использованию специального оборудования. Разработанный метод определения арабиногалактана обладает высокой селективностью к определяемому компоненту древесины в присутствии большого количества примесей, в связи с чем он может быть рекомендован для

количественного определения арабиногалактана как в водных растворах, так и в древесине.

Ключевые слова: древесина лиственницы, полисахариды, целлюлоза, нецеллюлозные полисахариды, остаточные пентозаны, арабиногалактан.

Evstigneyev E.I. Improvement of the scheme analysis of the component composition of a larch wood. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2020, is. 230, pp. 200–214 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2020.230.200-214

The scheme of the analysis of component structure of a larch providing determination of such components as polysaccharides, cellulose, not cellulose polysaccharides, lignin, extractive substances and ashes is developed. Unlike the known schemes of the analysis of the chemical composition of wood, it contains a new stage, namely determination of the general content of polysaccharides by a photocolorimetric method. Usually, for this purpose use definition of a holocellulose, however the known methods do not allow to emit all polysaccharides as in the course of allocation part of them is inevitably lost. Knowing the general content of polysaccharides, it is possible to determine the content of not cellulose polysaccharides. Such approach has clear advantage in comparison with traditionally used determination separately of hemicelluloses and separately water-soluble polysaccharides since in this case there is a loss of a part of polysaccharides. The scheme offered in work, gives the chance rather fully to characterize component composition of wood of a larch, without resorting to use of the special equipment. The developed method of an arabinogalactan determination has high selectivity to the defined wood component in the presence of a large amount of impurity in this connection it can be recommended for quantitative definition of an arabinogalactan both in water solutions, and in wood.

Keywords: larch wood, polysaccharides, cellulose, not – cellulose polysaccharides, residual pentosans, арабиногалактан.

ЕВСТИГНЕЕВ Эдуард Иванович – профессор кафедры технологии лесохимических продуктов, химии древесины и биотехнологии Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, доктор химических наук.

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

EVSTIGNEYEV Edward I. – DSc (Chemical), Professor, Department of technologies of timber-chemical products, chemistry of wood and biotechnology. St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: edward_evst@mail.ru