

УДК 66.061.4
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.164

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА СВЧ-ЭКСТРАКЦИИ ЛУБА В СРАВНЕНИИ С БЕРЕЗОВОЙ КОРОЙ

А.И. Бадогина, асп.

С.И. Третьяков, канд. техн. наук, проф.

Н.А. Кутакова, канд. техн. наук, проф.

Е.Н. Коптелова, канд. техн. наук, доц.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: a.badogina@narfu.ru

Представлены общие сведения о березовой коре. Изучены кинетические закономерности процесса сверхвысокочастотной экстракции березовой коры и луба. Для проведения опытов использовалась березовая кора – отход окорки древесины фанерного производства, которая была вручную разделена на луб и бересту. Экстракция проводилась в сверхвысокочастотной камере при оптимальных условиях, установленных ранее. Для изучения зависимости степени извлечения экстрактивных веществ от продолжительности экстракции луба были определены следующие показатели: концентрация экстрактивных веществ в твердом теле, степень недоизвлечения, полученная расчетным и опытным путем. Аналогичные показатели были найдены для березовой коры (совмещенная переработка бересты и луба без предварительного их разделения) для фракций менее 1, 1...2, 2...3 мм. Получен характерный вид логарифмической зависимости симплекса концентрации экстрактивных веществ от продолжительности экстракции для используемых фракций луба и березовой коры. Приведены зависимости степени недоизвлечения от продолжительности экстракции для фракций луба и березовой коры. Установлено, что регулярный режим и линейная зависимость наблюдаются уже после первой минуты проведения сверхвысокочастотной экстракции как для луба, так и для березовой коры. При изучении зависимостей степени недоизвлечения от продолжительности экстракции для различных фракций луба и березовой коры, зафиксировано максимальное значение данного показателя на начальном этапе сверхвысокочастотной экстракции, ближе к ее концу – его уменьшение. С понижением фракции луба меньше степень недоизвлечения, с уменьшением фракции березовой коры больше степень недоизвлечения. Для березовой коры процесс экстракции при достижении продолжительности 10 мин близится к завершению, для луба – еще продолжается. К моменту завершения экстракции степень недоизвлечения экстрактивных веществ из луба в несколько раз больше, чем из березовой коры. Наибольшее значение коэффициента внутренней диффузии в лубе отмечено для фракции менее 1 мм,

Для цитирования: Бадогина А.И., Третьяков С.И., Кутакова Н.А., Коптелова Е.Н. Исследование кинетических закономерностей процесса СВЧ-экстракции луба в сравнении с березовой корой // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 164–175. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.164

наименьшее – для фракции 2...3 мм, в березовой коре наибольшее – для фракции 2...3 мм, наименьшее – для фракции менее 1 мм.

Ключевые слова: луб, кора, экстрактивные вещества, сверхвысокочастотная экстракция.

Введение

Березовая кора состоит из внешнего (береста) и внутреннего (луб) слоев [8]. Из бересты можно извлечь до 50 % экстрактивных веществ (ЭВ) [3]. Основным тритерпеноидным соединением березы является пентациклический спирт (бетулин), содержание которого в бересте зависит от вида растения и может составлять до 25 % сухой массы [7]. Результаты проведенных исследований, направленных на изучение способов выделения бетулина и его свойств, представлены в работах [12, 13, 15].

Луб содержит значительное количество (19,3 %) водорастворимых соединений, в том числе дубильных веществ, содержание лигнина составляет около 18,0 % [1]. Авторами [14] изучена возможность получения дубильных веществ, красителей и энтеросорбентов из луба березовой коры. В работе [10] приведены результаты исследования кинетики экстрагирования луба березовой коры, алгоритмы расчета процесса экстрагирования – массообменного процесса, осложненного капиллярно-пористой структурой этого материала, экспериментально определена лимитирующая стадия процесса массообмена и рассчитаны коэффициенты внутренней диффузии.

Одним из эффективных способов экстракции растительных материалов является микроволновая обработка в сверхвысокочастотном (СВЧ) поле. При этом продолжительность процесса экстракции сокращается в 10–15 раз по сравнению с традиционными способами экстрагирования (например, при экстракции методом настаивания) [5]. В настоящее время проведено много исследований в области СВЧ-экстракции растительных материалов.

Целью работы [6] являлось определение лимитирующей стадии процесса массообмена и коэффициентов внутренней диффузии при извлечении ЭВ и бетулина экстрагированием из бересты. При изучении влияния гидродинамических условий на процесс экстрагирования модельных образцов бересты при различной интенсивности перемешивания наблюдалась одинаковая закономерность: в начальный период (до 10 мин) скорость процесса высокая и зависит от гидродинамических условий в аппарате, по мере извлечения ЭВ рабочая длина пор увеличивается, и процесс массообмена полностью переходит во внутридиффузионную область. Рассмотрены алгоритмы расчета внутридиффузионной кинетики процесса экстрагирования бересты, отличающейся сложной капиллярно-пористой анизотропной структурой. Экспериментально подтверждена возможность расчета процесса извлечения ЭВ и бетулина при постоянных значениях коэффициента внутренней диффузии, установлены зависимости этих коэффициентов от размеров частиц бересты [6].

В работе [13] выявлены оптимальные условия для СВЧ-экстракции сапонинов (сайкосапонинов А, С, D) этиловым спиртом из корня володушки (*Radix Bupleuri*): мощность СВЧ-поля – 360...400 Вт, концентрация спирта – 47...50 %, температура – 73...74 °С, продолжительность экстракции – 5,8...6,0 мин.

Исследований, направленных на изучение кинетики процесса СВЧ-экстракции луба в сравнении с берестой, недостаточно. Подготовка березовой коры для СВЧ-экстракции осуществляется вручную и является трудоемким процессом. Береста и луб различаются по механической прочности: луб легко крошится и при просеивании измельченной коры находится в мелких фракциях. Достаточно сложно полностью отделить бересту от луба: при просеивании через сито частички луба попадают во фракцию с преимущественным содержанием бересты. В связи с этим исследования, направленные на разработку комплексной технологии переработки березовой коры без предварительного отделения бересты от луба, перспективны.

Цель настоящей работы – изучение кинетических закономерностей процесса СВЧ-экстракции березовой коры и луба.

Объекты и методы исследования

В качестве исходного сырья применяли березовую кору, полученную при окорке фанерного кряжа на Архангельском фанерном заводе. Сырье вручную разделяли на луб и бересту. Чтобы измельчить луб и получить необходимые фракции (меньше 1, 1...2, 2...3 мм) использовали дробилку истирающего действия. Березовую кору (без предварительного разделения на бересту и луб) также измельчали для получения различных фракций. Для опытов отбирали навески березовой коры и луба массой 6 г.

Температура является одним из основных параметров процесса экстракции. Известно, что с ее повышением скорость экстракции возрастает, так как усиливаются диффузия и осмотические явления, а также увеличивается растворимость экстрагируемых веществ. Так, в работе [11] показано, что при повышении температуры экстракции от 278,2 до 308,2 К растворимость бетулина в алифатических спиртах возрастает в 2,0–2,3 раза.

В наших исследованиях экстракцию проводили в СВЧ-камере, подробное описание которой представлено в [5], при следующих оптимальных условиях [2]: концентрация этилового спирта (этанол) – 10 %; концентрация гидроксида калия – 16 %; жидкостной модуль – 16. Навеску помещали в колбу и заливали соответствующим количеством экстрагента (водный раствор этилового спирта с добавлением гидроксида калия). Колбу устанавливали в СВЧ-камеру, подсоединяли к обратному холодильнику, включали мешалку и проводили процесс экстракции с использованием различных фракций луба. Отбор проб экстракта осуществляли через 2 мин. Полученный раствор фильтровали, фильтрат упаривали на водяной бане. По массе остатка определяли выход ЭВ.

Для исследования зависимости степени извлечения ЭВ от продолжительности экстракции луба были определены следующие показатели: концентрация ЭВ в массе образца (C_T , кг/кг), степень недоизвлечения (E)*, логарифмическая функция ($\ln E$) и расчетные значения степени недоизвлечения ($E_{\text{расч}}$).

Пример расчета для фракции луба менее 1 мм в начальный период времени процесса экстракции. Определяем концентрацию ЭВ в массе образца:

$$C_T = (m_n C_{Tн} - V_{ж} C / 1000) / m_n, \quad (1)$$

где m_n – масса навески луба, г;

$C_{Tн}$ – начальная концентрация ЭВ в массе образца, кг/кг;

$V_{ж}$ – объем экстракта, полученного в результате опытов, мл;

C – концентрация ЭВ в жидкости в зависимости от продолжительности экстракции, кг/кг.

Исходя из данных, приведенных ранее [4], для фракций луба менее 1 мм, 1...2 мм, 2...3 мм принимаем $C_{Tн} = 0,34$ кг/кг, для фракций березовой коры менее 1 мм – 0,34; для 1...2 мм – 0,30; для 2...3 мм – 0,28 кг/кг.

Подставляя численные значения в формулу (1), для луба получаем следующее:

$$C_T = (6 \cdot 0,34 - 102 \cdot 13,8 / 1000) / 6 = 0,105 \text{ кг/кг.}$$

Далее определяем степень недоизвлечения:

$$E = C_T / C_{Tн}, \quad (2)$$

или $E = 0,105 / 0,34 = 0,309$.

Расчетные значения E были найдены с использованием следующей формулы:

$$E_{\text{расч}} = B \cdot \exp(-\pi^2 D \tau / R^2), \quad (3)$$

где B – безразмерный коэффициент, полученный экспериментальным путем;

D – коэффициент внутренней диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$;

τ – продолжительность экстракции, с;

R – приведенный радиус частицы луба, м.

Подставим численные значения в формулу (3) для луба:

$$E_{\text{расч}} = 0,454 \cdot \exp(-3,14^2 (1,409 \cdot 10^{-10}) 60 / 0,0005^2) = 0,325.$$

После всех расчетов в результате имеем: $C_T = 0,005 \dots 0,340$; $E = 0,015 \dots 1,000$; $\ln E = -4,200 \dots 0$; $E_{\text{расч}} = 0,016 \dots 0,508$.

*В теории массообменных процессов с твердым материалом принято понятие «степень недоизвлечения», а не «степень извлечения» [9].

Для сравнения были исследованы зависимости E от τ и для всех фракций березовой коры (совмещенная переработка бересты и луба без предварительного их разделения) получены значения тех же показателей: $C_T = 0,001...0,340$; $E = 0,004...1,000$; $\ln E = -5,452...0$; $E_{\text{расч}} = 0,006...0,506$.

Результаты исследования и их обсуждение

Характерный вид логарифмической зависимости симплекса концентрации ЭВ от продолжительности экстракции для фракций луба менее 1, 1...2, 2...3 мм показан на рис. 1.

Исходя из полученных графиков, можно сделать вывод о том, что регулярный режим и линейная зависимость наблюдаются после первой минуты проведения СВЧ-экстракции.

Экстраполяцией прямой линии $\ln \frac{y_p - \bar{y}}{X_n - y_n} = f(\tau)$ до $\tau = 0$ определяем значение B_1 в уравнении

$$\frac{y_p - \bar{y}}{X_n - y_n} = B_1 \exp(-\mu_1^2 Fo_d), \quad (4)$$

где μ_1 – корень характеристического уравнения [6];
 Fo_d – диффузионный критерий Фурье.

Тангенс угла (α) наклона прямой

$$\operatorname{tg} \alpha = \mu_1^2 \frac{D}{R^2}. \quad (5)$$

После логарифмирования уравнения (4) имеем:

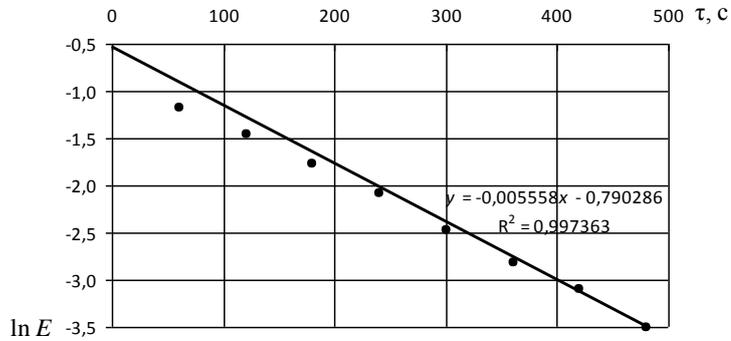
$$\ln \frac{y_p - \bar{y}}{X_n - y_n} = \ln B_1 - \mu_1^2 \frac{D\tau}{l^2}. \quad (6)$$

Аналогичным образом получаем зависимости симплекса концентрации ЭВ от τ для фракций березовой коры в целом.

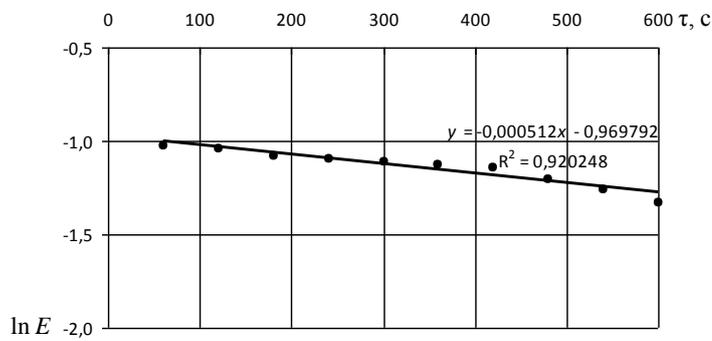
Так же была найдена зависимость E от τ при оптимальных условиях для фракций луба (рис. 2, а) и березовой коры (рис. 2, б).

Маркерами показаны полученные опытным путем значения E : для фракции менее 1 мм – 0,015...1,000 (луб) и 0,050...1,000 (кора); для фракции 1...2 мм – 0,265...1,000 (луб) и 0,037...1,000 (кора); для фракции 2...3 мм – 0,465...1,000 (луб) и 0,004...1,000 (кора).

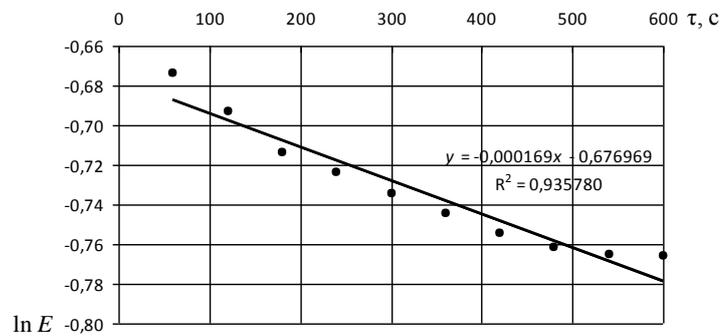
Линиями соединены полученные расчетным путем значения $E_{\text{расч}}$: для фракции менее 1 мм – 0,0,16...0,454 (луб) и 0,043...0,506 (кора), для фракции 1...2 мм – 0,279...0,379 (луб) и 0,027...0,358 (кора), для фракции 2...3 мм – 0,459...0,508 (луб) и 0,006...0,398 (кора).



a

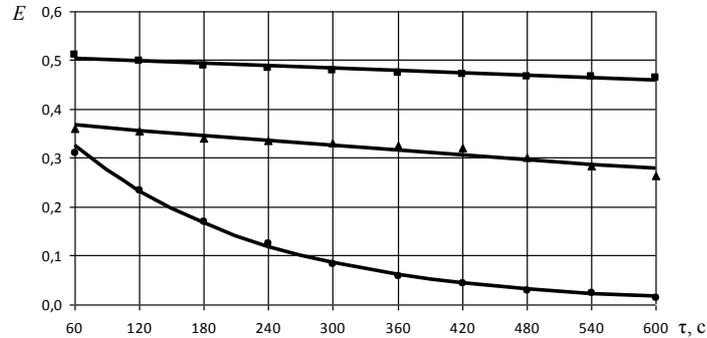


b

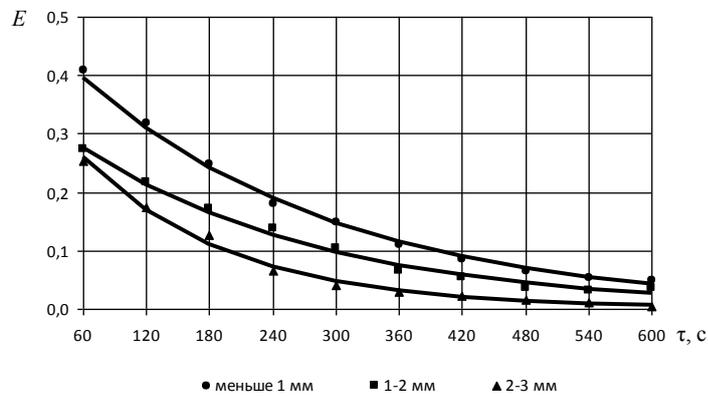


v

Рис. 1. Зависимость $\ln[(y_p - \bar{y}) / (X_n - y_n)] = f(\tau)$ при извлечении ЭВ из фракции луба: a – менее 1 мм; b – 1...2 мм; v – 2...3 мм



а



б

Рис. 2. Зависимость степени недоизвлечения E от продолжительности экстракции τ для различных фракций луба (а) и березовой коры (б)

По приведенным данным можно констатировать, что в самом начале процесса экстракции луба E имеет максимальное значение 0,30...0,50. При $\tau = 10$ мин степень недоизвлеченности уменьшается и составляет 0,01...0,45 в зависимости от используемой фракции. Наибольшее значение отмечено у фракции 2...3 мм, наименьшее – у фракции менее 1 мм. С уменьшением размеров частиц сырья E снижается, с увеличением – возрастает.

При исследовании различных фракций березовой коры также наблюдается сначала максимальное значение показателя ($E = 0,25...0,40$), потом он снижается до 0...0,05. Наибольшее значение этого показателя отмечено у фракции березовой коры размерами менее 1 мм, наименьшее – у фракции 2...3 мм. С уменьшением размеров частиц сырья E увеличивается, и наоборот. Для всех рассчитанных величин выявлено совпадение с экспериментальными данными.

Таким образом, для березовой коры при $\tau = 10$ мин процесс экстракции близится к завершению, для луба – еще продолжается. К моменту завершения экстракции луба показатель E в 9 раз больше, чем у березовой коры. Подобные различия, вероятно, могут быть объяснены анизотропными свойствами бересты и усилением эффекта СВЧ-воздействия на процесс экстракции. В связи с этим совмещенная переработка обеих частей коры нецелесообразна.

При расчете коэффициента внутренней диффузии (D , м²/с) для фракций луба менее 1 мм использовали следующую формулу:

$$D = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot R^2}{\pi^2}, \quad (7)$$

или

$$D = \frac{0,005558 \cdot 0,0005^2}{3,14^2} = 1,409 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Аналогичным образом были получены значения D для остальных фракций луба и березовой коры: $2,921 \cdot 10^{-11}$ – 1...2 мм, $2,678 \cdot 10^{-11}$ – 2...3 мм (луб); $1,039 \cdot 10^{-10}$ – меньше 1 мм, $2,470 \cdot 10^{-10}$ – 1...2 мм, $1,123 \cdot 10^{-9}$ – 2...3 мм (березовая кора). При экстракции луба наибольшее значение данного показателя наблюдается у фракции размером менее 1 мм, наименьшее – у фракции 2...3 мм, при экстракции березовой коры наибольшее значение отмечено у фракции 2...3 мм, наименьшее – у фракции менее 1 мм. Таким образом, характер зависимости коэффициента диффузии от размера частиц при экстракции коры изменяется на противоположный.

Выводы

1. СВЧ-поле сильнее влияет на экстракцию бересты, чем луба. Присутствие бересты в лубе повышает степень извлечения ЭВ из луба, что позволяет проводить экстракцию сырья без предварительного ручного разделения луба и бересты. Это может послужить основой для разработки комплексной технологии переработки березовой коры.

2. При изучении зависимости степени недоизвлечения от продолжительности СВЧ-экстракции для различных фракций луба и березовой коры на начальном этапе отмечается максимальное значение данного показателя, ближе к концу процесса – значительное его снижение.

3. С уменьшением размеров частиц луба степень недоизвлечения снижается, и наоборот. С уменьшением размеров частиц березовой коры в целом степень недоизвлечения увеличивается, и наоборот. Для березовой коры при достижении продолжительности 10 мин процесс экстракции близится к завершению, для луба – еще продолжается. К моменту завершения экстракции степень недоизвлечения у луба в 9 раз больше, чем у березовой коры.

4. Наибольшее значение коэффициента внутренней диффузии отмечено для фракции луба размером менее 1 мм, наименьшее – для фракции 2...3 мм. Наибольшее значение данного показателя имеет фракция березовой коры размером 2...3 мм, наименьшее – фракция менее 1 мм, т. е. зависимости противоположны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ведерников Д.Н., Шабанова Н.Ю., Роцин В.И. Изменение химического состава корки и луба березы повислой *Betula pendula* Roth. (*Betulaceae*) по высоте дерева // Химия растит. сырья. 2010. № 2. С. 43–48.
2. Захарова А.И., Третьяков С.И., Кутакова Н.А., Коптелова Е.Н. Выделение экстрактивных веществ из луба коры березы при воздействии СВЧ-поля // Лесн. журн. 2015. № 4. С. 148–155. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Кислицын А.Н. Экстрактивные вещества бересты: выделение, состав, свойства, применение. Обзор // Химия древесины. 1994. № 3. С. 3–28.
4. Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А., Третьяков С.И. Извлечение экстрактивных веществ и бетулина из бересты при воздействии СВЧ-поля // Химия растит. сырья. 2013. № 4. С. 159–164.
5. Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А., Третьяков С.И. Исследование кинетики массопереноса в процессе экстрагирования бересты // Лесн. журн. 2013. № 4. С. 119–128. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Коптелова Е.Н., Третьяков С.И., Кутакова Н.А. Влияние вида измельчения на процесс экстракции бересты // X Междунар. науч.-практ. конф. «Современные концепции научных исследований». Москва, 30-31 янв. 2015 г. Ч. 1. Техн. науки. С. 59–62.
7. Похило Н.Д., Денисенко В.А., Баранов В.И., Уварова Н.И. Тритерпеноиды внешней коры *Betula taximowicziana* // Химия природ. соединений. 1986. № 5. С. 650–652.
8. Похило Н.Д., Уварова Н.И. Изопреноиды различных видов рода *Betula* // Химия природ. соединений. 1988. Т. 3. С. 325–341.
9. Романков П.Г., Курочкина М.И. Экстрагирование из твердых материалов. Л.: Химия, 1983. 256 с.
10. Третьяков С.И., Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А., Бадюгина А.И., Макаревич Н.А. Кинетические закономерности процесса экстрагирования луба березовой коры // Развитие Северо-Арктического региона: проблемы и решения: материалы науч. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотр. и асп. САФУ им. М.В. Ломоносова / сост. С.В. Тевлина, С.В. Рябченко. Архангельск: САФУ, 2016. С. 378–382.
11. Dan C., Guoling Z., Weidong Y. Solubilities of Betulin in Fourteen Organic Solvents at Different Temperatures // J. of Chemical Engineering Data. 2007. Vol. 52, no. 4. Pp. 1366–1368.
12. Drebuschak T.N., Mikhailenko M.A., Brezgunova M.E., Shakhthshneider T.P., Kuznetsova S.A. Crystal Structure Of Betulin Ethanol Solvate // J. of Structural Chemistry. 2010. Vol. 51, no. 4. Pp. 798–801.
13. Guoling Z., Weidong Y., Dan C. Simultaneous Determination of Betulin and Betulinic Acid in White Birch Bark using RP-HPLC // J. of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 2007. Vol. 43, no. 3. Pp. 959–962.

14. Kuznetsova S.A., Levdansky V.A., Kuznetsov B.N., Shchipko M.L., Ryazanova T.V., Kovalchuk N.M. Obtaining Tanning Agents, Dyes, and Enterosorbents from Bast of a Birch Bark // *Chemistry for Sustainable Development*. 2005. no. 3. Pp. 399–407.

15. Tolstikov G.A., Flekhter O.B., Shultz E.E., Baltina L.A., Tolstikov A.G. Betulin and Its Derivatives. Chemistry and Biological Activity // *Chemistry for Sustainable Development*. 2005. Vol. 13, no. 1. Pp. 1–29.

Поступила 22.12.16

UDC 66.061.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.164

The Comparison of Kinetics of Microwave-Assisted Extraction of Bast and Birch Bark

A.I. Badogina, Postgraduate Student

S.I. Tret'yakov, Candidate of Engineering Sciences, Professor

N.A. Kutakova, Candidate of Engineering Sciences, Professor

E.N. Koptelova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: a.badogina@narfu.ru

The overview of birch bark is presented. Kinetics of the microwave extraction process of birch bark and bast are studied. For the experiments we use wood bark residual of the plywood production manually divided into bast and bark. The extraction is carried out in a microwave chamber under the earlier determined optimal conditions. The following parameters are calculated to investigate the dependence of the degree of extraction of extractives on the duration of bast extraction: the concentration of extractives in solids, the degree of insufficient extraction, obtained by the calculated and experimental methods. Similar indicators are determined for birch bark (combined processing of birch bark and bast without prior separation) for fractions of less than 1 mm, 1...2 mm, 2...3 mm. The characteristic form of the logarithmic dependence of the concentration simplex of extractives on the duration of extraction for the fractions of bast and birch bark is obtained. Dependences of the degree of insufficient extraction on the duration of extraction for fractions of bast and birch bark are presented. A regular mode and linear relationship are observed even after the first minute of microwave extraction for bast and for birch bark. When studying the dependences of the degree of insufficient extraction on the duration of extraction for different factions of bast and birch bark we observe a maximum value of this index in the initial phase of the microwave extraction, and towards the end of the process – its reduction. With a decrease in the bast fraction, the degree of insufficient extraction is less; with a decrease in the fraction of birch bark the degree of insufficient extraction is greater. For birch bark the extraction process lasts for about 600 s, and for bast it lasts for a considerable time. By the time the extraction is completed, the degree of insufficient extractives from bast is several times greater

For citation: Badogina A.I., Tret'yakov S.I., Kutakova N.A., Koptelova E.N. The Comparison of Kinetics of Microwave-Assisted Extraction of Bast and Birch Bark. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 164–175. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.164

than from birch bark. The greatest value of the internal diffusion coefficient in bast is observed for the fraction of less than 1 mm, and the least – for the fraction of 2...3 mm; the greatest value in birch bark is observed for the fraction of 2...3 mm, and the least – for the fraction of less than 1 mm.

Keywords: bast, bark, extractives, microwave extraction.

REFERENCES

1. Vedernikov D.N., Shabanova N.Yu., Roshchin V.I. Изменение химического состава корки и луба березы повислой *Betula pendula* Roth. (*Betulaceae*) по высоте дерева [Alteration of Group Chemical Composition of Birch (*Betula Pendula* Roth.) Bark Parts on the Height of Tree]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2010, no. 2, pp. 43–48.
2. Zakharova A.I., Tret'yakov S.I., Kutakova N.A., Koptelova E.N. Выделение экстрактивных вешеств из луба коры березы при воздействии СВЧ-поля [Extractives Isolation Procedure from Birchbark Bast on Exposure to the Microwave Field]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2015, no. 4, pp. 148–155.
3. Kislitsyn A.N. Экстрактивные вешества бересты: выделение, состав, свойства применения [Extractive Substances of Birch Bark: Isolation, Composition, Properties, Application]. *Khimiya drevesiny*, 1994, no. 3, pp. 3–28.
4. Koptelova E.N., Kutakova N.A., Tret'yakov S.I. Извлечение экстрактивных вешеств и бетулина из бересты при воздействии СВЧ-поля [Removing the Extractives and Betulin from Birch Bark Exposed Microwave Field]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2013, no. 4, pp. 159–164.
5. Koptelova E.N., Kutakova N.A., Tret'yakov S.I. Исследование кинетики массопереноса в процессе экстрагирования бересты [Study of Mass Transfer Kinetics During Birch Bark Extraction]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2013, no. 4, pp. 119–128.
6. Koptelova E.N., Tret'yakov S.I., Kutakova N.A. Влияние вида измельчения на процесс экстракции бересты [The Impact of the Grinding Type of on the Birch Bark Extracting Process]. *X Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sovremennye kontseptsii nauchnykh issledovaniy» (Moskva, 30-31 yanv. 2015 g.). Ch. 1. Tekhn. nauki* [10th Int. Sci. Prac. Conf. “Modern Concepts of Scientific Research” (Moscow, January 30-31, 2015). Part 1. Engineering Sciences]. Moscow, 2015, pp. 59–62.
7. Pokhilo N.D., Denisenko V.A., Baranov V.I., Uvarova N.I. Тriterпеноиды внешней коры *Betula maximowicziana* [Triterpenoids of the Outer Bark of *Betula maximowicziana*]. *Khimiya prirodnikh soedineniy*, 1986, no. 5, pp. 650–652.
8. Pokhilo N.D., Uvarova N.I. Изопреноиды различных видов рода *Betula* [Isoprenoids of Various Species of the Genus *Betula*]. *Khimiya prirodnikh soedineniy*, 1988, vol. 3, pp. 325–341.
9. Romankov P.G., Kurochkina M.I. *Ekstragirovanie iz tverdykh materialov* [Extraction from Solid Materials]. Leningrad, 1983. 256 p.
10. Tret'yakov S.I., Koptelova E.N., Kutakova N.A., Badogina A.I., Makarevich N.A. Кинетические закономерности процесса экстрагирования луба березовой коры [Kinetics of the Extraction Process of Birch Bark Bast]. *Razvitie Severo-Arkticheskogo regiona: problemy i resheniya: materialy nauch. konf. prof.-prepodavat. sostava, nauch. sotr. i asp. SAFU im. M.V. Lomonosova* [Development of the North-Arctic Region: Problems and Solu-

tions: Proc. Sci. Conf. of Higher-Education Teaching Personnel, Research Officers and Postgraduate Students of NArFU named after M.V. Lomonosov]. Ed. by S.V. Tevlina, S.V. Ryabchenko. Arkhangelsk, 2016, pp. 378–382.

11. Dan C., Guoling Z., Weidong Y. Solubilities of Betulin in Fourteen Organic Solvents at Different Temperatures. *J. of Chemical and Engineering Data*, 2007, vol. 52, no. 4, pp. 1366–1368.

12. Drebuschak T.N., Mikhailenko M.A., Brezgunova M.E., Shakhtshneider T.P., Kuznetsova S.A. Crystal Structure of Betulin Ethanol Solvate. *J. of Structural Chemistry*, 2010, vol. 51, no. 4, pp. 798–801.

13. Guoling Z., Weidong Y., Dan C. Simultaneous Determination of Betulin and Betulinic Acid in White Birch Bark Using RP-HPLC. *J. of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2007, vol. 43, no. 3, pp. 959–962.

14. Kuznetsova S.A., Levdansky V.A., Kuznetsov B.N., Shchipko M.L., Ryazanova T.V., Kovalchuk N.M. Obtaining Tanning Agents, Dyes, and Enterosorbents from Bast of a Birch Bark. *Chemistry for Sustainable Development*, 2005, no. 3, pp. 399–407.

15. Tolstikov G.A., Flekhter O.B., Shultz E.E., Baltina L.A., Tolstikov A.G. Betulin and Its Derivatives. Chemistry and Biological Activity. *Chemistry for Sustainable Development*, 2005, vol. 13, no. 1, pp. 1–29.

Received on December 22, 2016