

УДК 630*812

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-74-88

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ КОРЫ**З. Пастори¹, Г.А. Горбачева², В.Г. Санаев², И.Р. Мохачине¹, З. Борчок¹**¹Инновационный центр, Шопронский университет, 9400, Венгрия, г. Шопрон, ул. Байчи Жилински, д. 4²МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

gorbacheva@bmsu.ru

Человечество веками использует в различных сферах своей жизни кору древесных растений. Ежегодно на лесозаготовительном производстве и в деревоперерабатывающей промышленности производится от 300 до 400 тыс. м³ коры, которая утилизируется многочисленными способами, большая часть коры по-прежнему сжигается. Приведен литературный обзор работ, посвященных исследованиям строения, свойств, традиционных и современных способов применения древесной коры. После краткого анатомического обзора обсуждаются защитная роль коры для растущего дерева, применение коры как индикатора загрязнения окружающей среды. Проанализированы физические свойства, химический состав коры, методы окорки. Охарактеризован сложный химический состав — большое разнообразие вторичных метаболитов, а также физические и механические свойства коры, которые позволяют ее использовать в медицине, энергетике, сельском хозяйстве и других отраслях экономики. Показана растущая популярность химической обработки коры и получения из нее различных соединений, производства на основе коры стружечных, волокнистых и теплоизоляционных плит, композиционных материалов, очистки воды и газов с помощью древесины, что указывает на перспективность ее применения как уникального природного материала и возобновляемого ресурса.

Ключевые слова: древесная кора, строение и свойства древесной коры, способы применения коры

Ссылка для цитирования: Пастори З., Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Мохачине И.Р., Борчок З. Состояние и перспективы использования древесной коры // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 74–88. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-74-88

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), общий объем заготовленных круглых лесоматериалов в мире оценивается в 3 591 142 000 м³ [1]. Исходя из соотношения 1/10, объем древесной коры, подлежащей утилизации, составляет примерно 359 114 200 м³. Только на лесопильных заводах Калифорнии запасы коры оцениваются в 2,2–2,6 млн т [2]. В обзоре, выполненном С. Фенг и соавт. [3], в Канаде ежегодно производится более 17 млн м³ коры, более половины которой сжигается или вывозится на свалки. Производство древесной коры в Венгрии ежегодно достигает 5...6 тыс. м³ [4], в России — около 30 млн м³ [5, 6].

Кора выполняет различные функции в продолжении жизни растения. С возрастом происходит изменение ее свойств. По внешнему виду и характеру поверхности кора отличается очень большим разнообразием, в зависимости от вида, возраста и экологических факторов, заметны различия даже в пределах одного дерева. Относительный объем коры изменяется в пределах 5...28 % [4, 7–10].

Цель работы

Цель работы — рассмотреть строение, физические свойства коры, ее химический состав, анализ методов окорки для ее использования в медицине, энергетике, сельском хозяйстве и других отраслях экономики.

Строение и защитные функции коры

Характерными признаками древесных растений являются мощное вторичное утолщение и развитие перидермы. Перидерма представляет собой комплекс тканей, состоящих из феллогена и его производных — феллодермы (откладывается внутрь) и феллемы, или пробки (вторичной покровной ткани, откладываемой наружу) [8, 11–14]. У взрослого дерева кора имеет две четко выделяющиеся зоны: луб (флоэму) и корку (ритидом). Луб, так же, как и образованная камбием древесина, содержит анатомические элементы, выполняющие проводящую, механическую и запасающую функции. Проводящую функцию в лубе выполняют ситовидные анатомические элементы (клетки и трубки), механическую — лубяные волокна и каменистые клетки; запасающую — паренхимные клетки, которые, как и в древесине, образуют две системы — горизонтальную (лубяные лучи) и вертикальную (лубяную паренхиму). Корка состоит из прослоек перидермы и участков заключенного между ними отмершего луба. Основная масса перидермы — это пробковые клетки, располагающиеся радиальными рядами, которые вскоре после образования отмирают. Это связано с отложением в их стенках суберина. Прослойки суберина чередуются с прослойками воска, который и обеспечивает, главным образом, непроницаемость клеточных стенок (они не имеют пор) для

воды и газов. Тонкостенные пробковые клетки, заполненные воздухом, обладают хорошими теплоизоляционными свойствами. Защитные функции корки в растущем дереве обусловлены в основном присутствием в ней пробковых клеток. У большинства пород начиная с определенного возраста пробковый камбий закладывается в глубине коры и образует слои перидермы. В изолированные перидермой участки луба не могут поступать растворы питательных веществ, и они отмирают. Постепенно образуется корка с комплексом отмерших тканей. Одновременно с ежегодным приращением корки изнутри происходит отпад ее наружных слоев обычно в виде чешуек [8].

Кора деревьев представляет собой среду обитания для многочисленных живых организмов: членистоногих, позвоночных, лишайников, мхов и др. Кора защищает дерево не только от погодных условий, проникновения спор грибов, бактерий, механических повреждений, насекомых-вредителей, но и имеет решающее значение при лесных пожарах. Относительная толщина коры существенно влияет на выживание деревьев в огне [15–21].

Кора как индикатор загрязнения окружающей среды

Кору используют в качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды, поскольку вследствие анатомического строения и значительной пористости кора имеет значительную поверхность контакта с воздухом и дольше сохраняет загрязнения, чем поверхность листьев, откуда загрязнения легко смываются дождем [22–25]. К. Гродзинска использовала изменение показателя кислотности коры деревьев для оценки загрязнения окружающего воздуха [26–29]. Многие работы посвящены исследованию взаимосвязи загрязнения воздуха и кислотности коры [30–36]. Некоторые роды и виды деревьев, такие, как дуб (*Quercus* L.), ильм (*Ulmus* L.), ива (*Salix* L.), тополь (*Populus* L.), ясень (*Fraxinus* L.), клен (*Acer* L.), липа (*Tilia* L.), сосна (*Pinus* L.), тис ягодный (*Taxus baccata* L.), робиния ложноакациевая (*Robinia pseudoacacia* L.), оливковое дерево (*Olea europea* L.), кедр атлантический (*Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex Carrière), кипарис вечнозеленый (*Cupressus sempervirens* L.), эвкалипт (*Eucalyptus* L'Hér.) и другие, были использованы для обнаружения загрязнений металлами и другими химическими веществами [25, 34, 36–47]. Кора сохраняет загрязняющие вещества предыдущих лет, поэтому наросты коры, образованные в результате повреждения, послужили основой для изготовления образцов и проведения исследований изменения загрязнения свинцом различной степени интенсивности и изучения источников загрязнения для разных периодов времени [48–53].

Физические свойства древесной коры

Влажность коры может изменяться в широком диапазоне. Многие факторы, такие как, порода древесины, способ хранения, время года, способ окорки, осадки оказывают влияние на содержание влаги [54]. Влажность луба (флоэмы) обычно в 7–10 раз больше, чем корки (ритидома), поэтому влажность коры зависит, в первую очередь, от количественного соотношения внутреннего и внешнего слоев коры. После распиловки влажность коры может достигать 150 %, в частности, влажность коры сосны обыкновенной составляет в среднем 120 %, ели — 112, бука — 127, березы — 58 % [8, 54–56]. Корка большинства пород при хранении относительно быстро теряет влагу. До процесса окорки на лесопильных предприятиях среднее значение влажности в чешуйчатой коре ели и сосны обыкновенной снижается до 60...70 % [8].

Теплота сгорания коры несколько выше, чем у древесины соответствующей породы (18...23 МДж/кг) [8, 54, 57], максимальные значения отмечены для наружной части коры березы (бересты) — 35 МДж/кг [8, 58].

Плотность древесной коры зависит от возраста, географического положения и других факторов [8, 59]. П.Д. Майлз и В.Б. Смит [60] собрали данные по плотности коры 156 североамериканских древесных пород. Для большинства видов измеренные значения составляли 400...500 кг/м³, для некоторых видов дуба плотность коры достигала 750 кг/м³, для некоторых видов сосны была несколько ниже — 300 кг/м³. Ранее О.И. Полуляев [59] получил аналогичные результаты для отечественных древесных пород.

Химический состав коры

Элементный химический состав коры мало отличается от древесины — в коре несколько больше углерода и существенно выше содержание азота, больше количество минеральных веществ, особенно в лубе (таблица).

Содержание минеральных веществ в коре существенно отличается в зависимости от породы древесины и изменяется в диапазоне 1,5...10 % [54, 61–66], как правило, меньшая зольность характерна для голосеменных [67]. В золе содержатся Al, Mn, Mo, Ca, P, Mg, Zn, Cu, Fe, B, N, K, Ni, Cr, Pb, Si, Na, обычно преобладают Ca, N, K [68–74]. Д.Е. Милкин [62] определил элементный химический состав коры для многих видов и обнаружил, что для голосеменных содержание С составляет более 50 %, в то время как для покрытосеменных изменяется в несколько больших пределах и изредка превышает 50 %. И. Барбутис и С. Ликидис [75] отмечают большее содержание золы в голосеменных.

Элементный химический состав древесины и коры ели, в процентах [8]

Chemical composition of wood and spruce bark, in percent [8]

Ель	С	Н	О	Другие элементы
Древесина	50,0	6,0	43,5	0,5
Луб	51,5	5,7	38,8	4,0
Корка	44,4	6,4	45,4	3,8

Соотношение между основными органическими веществами в лубе и коре иное, чем в древесине — они содержат значительно меньше целлюлозы. В то время как древесина содержит 40...50 % целлюлозы, в лубе ее 18...25 %, в корке — только 3...17 % [8, 56, 76–78]. Другим основным компонентом является лигнин, который также присутствует в коре [3, 67, 73, 79, 80]. Характерно наличие суберина, который вызывает опробковение клеточных стенок корки [73, 80–83].

Важными компонентами коры являются экстрактивные вещества и вторичные продукты метаболизма, содержание которых достигает 20 %, и особенно дубильных веществ. Ранее кора дуба, ели, ивы и каштана использовалась для получения дубильной кислоты, которая применяется для дубления кож [84]. Терпеноиды, эфиры терпеноидов, тритерпеновые спирты, эфирные масла, стерины, таннины, терпены, сесквитерпены, флавоноиды, сложные эфиры жирных кислот, липиды, фенолы, углеводы, сапонины, гидроксикумарины, стильбеноиды, нецеллюлозные моносахариды (арабиноза, ксилоза, манноза) и многие другие вещества были обнаружены в составе коры различных древесных пород [3, 67, 73, 79, 85–95].

Методы окорки

Способ окорки зависит от вида коры, ее относительного объема, влажности, химического состава. На выбранную применяемую технологию влияет содержание луба и влажность коры, которая зависит от времени лесозаготовки и условий хранения. Механизованная окорка подразделяется на механическую (ударный, фрикционный, режущий, струйный способы) с использованием физико-химических способов (ультразвуковая, термическая, химическая окорка, окорка СВЧ-волнами и электромагнитным полем), а также комбинированную, включающую применение механического способа окорки в сочетании с воздействием физико-химических способов [96–100]. Процесс окорки зависит от нескольких факторов: породы древесины, размеров бревна, наличия лубяных волокон и каменистых клеток, условий хранения, влажности древесины [99, 101, 102].

Использование древесной коры

Применение коры в различных сферах жизни человека имеет многовековые традиции.

Медицина. Первые лекарства были изготовлены из растений. Алкалоиды, эфирные масла, углеводы, витамины, антибиотики входят в состав коры многих древесных пород. Кора некоторых видов, таких как *Chondrodendron tomentosum* Ruiz & Pavón, *Cinchona pubescens* Vahl, *Frangula alnus* Mill., *Quercus robur* L., *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Cinnamomum cassia* (L.) J.Presl, *Salix alba* L., *Salix fragilis* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Warburgia salutaris* (Bertol.f.) Chiov., *Robinia pseudoacacia* L., *Magnolia* L., *Byrsonima intermedia* A. Juss., *Cariniana rubra* Gardner ex Miers, *Garcinia buchananii* Baker, *Acacia mangium* Willd., *Acacia pennata* (L.) Willd., *Tilia cordata* Mill., *Careya arborea* Roxb., *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst., *Alnus incana* (L.) Moench, *Betula pendula* Roth, *Castanea sativa* Mill., *Picea abies* (L.) H. Karst., *Acanthopanax sessiliflorus* (Rupr. & Maxim.) Maxim., *Quercus ilex* L., *Picea mariana* (Mill.) Britton, Sterns & Poggenburg, *Cinnamomum verum* J. Presl широко использовалась в медицине [103–125].

Энергетика. На энергетическую утилизацию коры влияет, в основном, повышенная зольность коры, нежели у древесины. Массовая теплота сгорания коры также несколько больше, чем у древесины — 16,2...23 МДж/кг [8, 54, 56, 76, 126, 127]. Отходы коры, образующиеся в больших количествах, как правило, имеют высокую влажность, что значительно снижает эффективность их применения при сжигании [4]. Кору используют в брикете, смешивая с соломой и опилками. Из коры изготавливают пеллеты. Установлено, что они обладают отличной прочностью, имеют высокие физико-механические свойства и устойчивы к изменению влажности окружающего воздуха, однако есть и существенный недостаток — высокая зольность. В.И. Мелехов и соавт. [6] исследовали энергетический потенциал древесной коры в рамках программы по ресурсосбережению, и предложили в целях изменения физико-механических свойств термомодификацию березовой коры, значительно упрощающую дальнейшую технологию превращения ее в гранулированное топливо.

Сельское хозяйство. Самый простой способ сельскохозяйственного использования коры — мульчирование. Преимущества мульчирования заключаются в уменьшении испарения с поверхности почвы, содействии активности корневой системы, сохранении и обогащении видового состава наземной энтомофауны. При смешивании с тяжелыми почвами кора необходима для аэрирования, поскольку предотвращает уплотне-

ние, увеличивает водопоглощение и уменьшает эрозию почвы. Однако, не все виды коры пригодны для мульчирования вследствие высокого содержания химических веществ [76, 131–134]. Кора в естественных условиях медленно гниет в основном по причине низкого содержания в ней азота. Компостирование может ускорить процесс гниения, в частности на открытом воздухе потребуется всего лишь 4 мес., при размерах щепы менее 10 мм [135]. При правильной подготовке кора имеет такое же значение, как и торф, — ее можно использовать как экологически чистый продукт растительного происхождения [136–138].

Кора как лиственных, так и хвойных пород применяется в животноводстве в качестве подстилки для птицы. Подстилка из коры с размером частиц менее 4...5 мм не оказывает вредного влияния на питание и прирост массы поголовья птицы [139].

Кора по сравнению с древесиной менее пригодна для непосредственного кормления животных, в частности добавка в корм для овец частиц коры осины не показало приемлемых результатов [140].

Производство плит. Были предприняты попытки производства стружечных и волокнистых плит на основе коры (в качестве альтернативного сырья), не лишённые трудностей, связанных с загрязнениями коры песком, содержащим диоксид кремния и почвой) [141]. К тому же по мере увеличения доли коры в плитах механические свойства снижались. Увеличение содержания коры при различном содержании смолы привело к падению предела прочности плит при статическом изгибе и снижению модуля упругости, а значит, формостабильности плит [142].

Т.И. Чен и соавт. [143] изготовили стружечные плиты из смеси частиц древесины и коры ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Н. Karst.), наилучшие результаты были получены для соотношения 1:1. Р. Гертэянсен и Дж.Г. Хайгреен [144] пришли к выводу, что весь ствол осины можно использовать для производства древесностружечных плит. Б.Г. Хеебинк [145] показал, что при производстве древесностружечных плит из отходов лесозаготовок из древесины сосны (*Pinus contorta* Douglas), добавка 7 % коры не вызывает дополнительных трудностей при производстве. В.Ф. Лехманн и Р.Л. Геимер [146] изготовили подобные плиты и показали, что допустимая прочность и формоустойчивость соответствуют содержанию коры меньше 12 %.

А.Б. Андерсон и соавт. [147–149] выполнили серию исследований свойств стружечных плит, изготовленных с использованием коры. Стружечные плиты из коры обладали довольно низкой прочностью на статический изгиб и характеризовались значительной усадкой, вместе с тем

плиты, в которых кора применялась для среднего слоя, показали удовлетворительные результаты. А. Старецки [150] производил однослойные и трехслойные плиты, прочность на изгиб в них уменьшалась при увеличении содержания коры. Плиты, содержащие 65 % коры в среднем слое, соответствовали стандартам того времени. З. Мушински и Дж.Д. МакНатт [151] показали, что плиты с содержанием 30 % коры *Picea abies* (L.) Н. Karst. и *Pinus sylvestris* L. пригодны для производства мебели. П. Чу и соавт. [152] при исследовании древесины и коры *Parthenium argentatum* А. Грау показали, что кору можно использовать при замене древесных волокон.

П. Бланше и группа исследователей [153] установили, что при определенных условиях в древесностружечных плитах технологически возможно содержание коры. Наилучшие механические свойства этих плит получают при содержании 50 % древесины и 14 % смолы.

Е. Кехр [154], проанализировав техническую литературу и результаты проведенных им экспериментов, утверждал, что древесный материал с содержанием коры более 10 % в среднем слое можно использовать только при увеличении плотности плиты. Исследование также показало, что производство древесностружечных плит можно удешевит на 70 %, добавив кору белой березы, причем механические свойства не снизятся [155]. Г. Немли и соавт. [156] обнаружили, что кора белой акации и мимозы в древесностружечных плитах значительно уменьшает эмиссию формальдегида, а прочность внутри плит увеличивает.

Д. Миядзак и группа ученых [157], исследуя прочность склеивания для различных связующих, обнаружили, что древесная мука из коры акации увеличивает прочность фенолформальдегидных смол. Экстракт коры акации *Acacia mangium* Willd. богат фенольными соединениями и потенциально может заменить фенолформальдегидные смолы при производстве фанеры [158, 159]. Г.К. Гупта [160] изготовил плиты из поврежденной типографом коры *Pinus contorta* Douglas без добавления связующего. Р. Педье и соавт. [161, 162] на примере корки березы *Betula papyrifera* Marshall показали, что стружечные плиты можно изготавливать при содержанием коры не более 45 %, чтобы получить регламентированные показатели физических и механических свойств. Древесноволокнистые плиты средней плотности (МДФ), содержащие кору четырех древесных пород — гибрида тополя, сосны Банка, лиственницы и ели, показали более высокую плотность по сравнению с контрольными образцами [163].

А. Винклер [164] изготовил из коры ели плиты толщиной 4...5 мм, плотностью 900 кг/м³ и прочностью на изгиб более 2000 Н/см².

Началось применение коры в производстве теплоизоляционных плит. Кора обычно характеризуется низким содержанием волокон, нежели чем древесина, поэтому и ее прочность ниже. Содержание смолы и воска в коре некоторых деревьев относительно высокое, что является преимуществом, поскольку нет необходимости в связующем — достаточно прессования при высоких температурах. Плиты можно изготавливать из смеси частиц коры (25 %) и древесины [76]. Г. Кайн и группа исследователей [165] изготовили теплоизоляционные плиты из коры *Pinus sylvestris* L., при этом обнаружив, что для теплоизоляции возможно изготовление сравнительно легких древесностружечных плит. Кора обладает меньшей теплопроводностью, чем другие материалы, используемые для выдувной теплоизоляции, в частности, частицы еловой коры пригодны для выдувной теплоизоляции деревянных стен [166].

Г. Кайн и соавт. [167] изготовили теплоизоляционные плиты из смеси коры *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* (L.) Н. Karst. и *Abies alba* Mill. Оказалось, что изготовленные плиты обладают довольно высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами, имеют соответствующие прочностные показатели и довольно низкие значения эмиссии формальдегида. Согласно проведенным экспериментам [168], кора лиственницы *Larix decidua* Mill. подходит для изготовления теплоизоляционных плит с относительно низкими коэффициентами теплопроводности (0,065 до 0,09 Вт/м·К). Кроме того, для их производства можно использовать танниновые смолы, которые не содержат ни формальдегида, ни искусственные смолы, что более экологично.

В Японии древесина *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L.f.) D. Don широко применяется в строительной отрасли, однако ее кора, богатая волокнами и долговечная, не находит должного применения. Ю. Сато и группа ученых [169] изготовили плиты из крупной и мелкой фракций коры криптомерии с добавлением пенополистирола и провели эксперименты по исследованию их теплоизоляционных свойств. При испытаниях не было выявлено значительных различий крупной и мелкой фракций коры, а коэффициенты теплопроводности составляли 0,073 и 0,076 Вт/м·К соответственно, что выше по сравнению с плитой из пенополистирола 0,045 Вт/м·К [169].

Волокна коры черной сосны и осины обыкновенной использовались для изготовления композитов. При этом большинство показателей их механических свойств оказалось ниже, чем для контрольных образцов из древесины и древесных композитов, однако прочность на растяжение и тепловое расширение дали лучший результат, чем контрольные образцы [170]. Предпринимались

также попытки производства литевых изделий из коры сосны Дугласа [76].

О. Кастро и группа ученых [171] исследовали изготовленные из пробки сэндвич-структурированные агломераты для самолетов. В ходе экспериментов выяснилось, что на свойства сэндвич-структуры влияют в основном такие параметры, как размер и плотность пробковых гранул, способ их склеивания, которые можно задавать в зависимости от конечного использования.

Ф. Эрнандес-Оливарес и соавт. [172] разработали новый композит из пробки и гипса. Результаты показали, что пробка и гипс взаимно совместимы друг с другом, а при различном соотношении компонентов смеси можно изготовить композиты с различной плотностью и функциями, которые обладали бы необходимыми тепло- и звукоизоляционными свойствами.

Б.Д. Руденко [173] изучал влияние структуры на формирование свойств плит из коры сосны и лиственницы и вторичного полиэтилена, показав, что наилучшие свойства наблюдаются для плит, состоящих на 80 % из полиэтилена и на 20 % из коры.

Использование пробки. Специальный способ утилизации коры — пробковое производство (например, пробки, изоляционные панели и т. д.) из коры пробкового дуба (*Quercus suber* L.). Плотность пробки составляет 110—200...250 кг/м³, она гибкая, непроницаемая для жидкостей, устойчивая к поражениям грибами, насекомыми, химическим веществам [174]. Клетки пробки мертвые вследствие отложения в их стенках суберина. Оболочки становятся непроницаемыми для жидкостей и газов, что и приводит к гибели протопласта. Полости заполняют воздух и смолистые вещества [175]. Химический состав: суберин — 58 %, целлюлозы — 22, лигнина — 12 %, остальные вещества — 8 % (дубильная кислота, компоненты золы и т. д.). Этот природный материал имеет превосходные характеристики: паропроницаемый, водоустойчивый и гидрофобный, устойчивый к низким температурам, трудногорючий, не усыхает, хороший теплоизолятор (низкий коэффициент теплопроводности — 0,037...0,040 Вт/м·К) и звукоизолятор, антистатик, устойчивый к поражениям грибами и насекомыми.

Перечисленные выше характеристики пробки хорошо объясняют, почему суберифицированная кора надежно защищает древесину [4]. А. Шен и соавт. [176] исследовали пробку толстой коры дуба *Quercus cerris* L. и обнаружили, что толстую кору дуба *Q. cerris* L. var. *cerris* также можно использовать для изготовления пробок и заглушек. Попутно было выявлено [177], что пробка *Quercus cerris* L. var. *cerris* имеет типичные характеристики, однако размер клеток меньше, доля

клеточных стенок выше и включений больше, чем в пробке у *Quercus suber* L. Это дало основания внедрить ее для в производство гранул и различных агломератов (например, для изоляции).

Другие виды использования. Химическая обработка коры и получение из нее различных соединений становится все более популярными. Х.А. Орамахи и Ф. Диба [178] получили различные соединения из коры дуриана с помощью пиролиза — такие, как уксусная кислота, метиловый спирт, производные фенола. С. Шенсез [179] методом пиролиза получил бионефть из коры сосны *Pinus brutia* Tenore. Экстракт коры акации *Acacia tearnsii* De Wild. может быть значительным возобновляемым промышленным источником природных полимеров, для применения в качестве дубильных веществ при производстве клеев [180]. С точки зрения деревообрабатывающей промышленности интерес вызывает возможное использование экстракта коры в производстве клеев. ОН-группы фенольных соединений вступают в реакцию с формальдегидом, и полученное связующее можно применять для получения водостойких древесно-стружечных плит и фанеры [147–149, 181, 182]. И.Г. Судакова и группа ученых [183] провели исследования образцов суберина из бересты коры березы для получения лаковых композиций и огнезащитных составов на основе поликонденсированного суберина в качестве пленкообразующего вещества.

Измельченные отходы коры можно добавить к материалу, предназначенному для изготовления кирпичей. В этом случае после обжига пористость и теплоизолирующая способность кирпича увеличиваются, хотя количество выгоревшего материала уменьшает плотность кирпича [184–186].

Интенсивные эксперименты показали, что из плетеной коры после специальной обработки можно получить волокнистый материал для производства войлочных досок, картонных досок, оберточного материала и особенно теплоизоляционных материалов [187].

В Норвегии для земляных работ на железной дороге под несущими балками для защиты от мороза использовали щепу коры ели и европейской пихты [188].

Очистка воды и газа. Кора или ее модифицированный вариант применяли для очистки воды. По мнению ряда исследователей, кора ели, сосны обыкновенной и лиственницы, ольхи, липы и вяза связывает токсичные ионы Pb, Cd, Hg, Zn [189]. С помощью метода химической активации активированный уголь можно получить из коры эвкалипта с помощью фосфорной кислоты [190]. Активированный уголь из-за своих превосходных адсорбционных свойств используется для очистки питьевой воды, сточных вод, растворов,

загрязненного воздуха и отбеливания сахара. Г. Пальма и группа ученых [191] с помощью химически модифицированной коры сосны *Pinus radiata* D.Don и дубильных веществ удалили ионы металлов из водных растворов и сточных вод медного рудника. Н.М. Салем и А.М. Авад [192] провели исследование процессов фракционной биосорбции модифицированной коры *Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl. на водных растворах ионов никеля — скорость связи зависела от pH, концентрации ионов никеля, количества коры, времени контакта и температуры. Г.К. Кафле и др. [193] показали эффективность применения биофильтров на основе древесной коры для обеззараживания сточных вод свинно-комплексов от запахов аммиака и сероводорода. Л. Кутиллас-Барейро и группа ученых [194] в ходе эксперимента продемонстрировали, что кора *Pinus pinaster* Aiton может связывать значительное количество ионов Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , что свидетельствует о возможности эффективного обеззараживания воды от ионов тяжелых металлов в загрязненной среде. В исследовании М. Вайда [195] проводилось обеззараживание сточных вод с помощью древесной коры от нефтеподобных соединений. А.В. Семенович и С.Р. Лоскутов [196, 197] изучали применение модифицированной коры хвойных пород для изготовления сорбентов различного назначения, в том числе и для сбора разливов нефтепродуктов с водных поверхностей. Сорбционная емкость модифицированной древесной коры по отношению к катионам металлов Cu^{2+} , Co^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} достигала 21,30 мг/г, красителю метиленовому голубому — 42,10 мг/г, нефтепродуктам — 8,23 г/г.

Изучалась не только очистка воды, но и очистка газов. Для очистки топочных газов использовались биофильтры, сделанные из коры *Pinus sylvestris* L. при промышленных температуре и давлении [198]. Л. Валентин и группа исследователей [199] использовали грибы (*Phanerochaete velutina* és *Stropharia rugosoannulata*) с коры сосны обыкновенной для производства лигнолитических ферментов и пероксидазы для очистки загрязнений окружающей среды. Результаты показали, что кора *Pinus sylvestris* L. помогает вырабатывать ферменты и служит питательной средой для грибов, поэтому кора сосны подходит для биоремедиации.

Производство пластмасс и наполнителей. Н. Кордейро и группа ученых [200] исследовали процесс получения и характеристики полиуретана на субериновой основе, Д.Е. Гарсиа и соавт. [201] изучали обработанные на основе полифенолов полиуретановые пленки с помощью конденсированных танинов и про-

изводных гидроксил-танинов, полученных из коры *Pinus pinaster* Aiton и с помощью диизоцианатов. Ф. Мунош и группа исследователей [202] обнаружили, что волокна коры эвкалипта *Eucalyptus nitens* (H.Deane & Maiden) Maiden могут служить в качестве упрочняющего материала для термопластичных пластмасс, таких как полиэтилен высокой плотности (HDPE). С.В. Макарычев [203] показал, что древесная кора, применяемая в качестве наполнителя термопластов, увеличивает их теплоемкость и теплопроводность, сохраняя температуропроводность. Дж. Хейнмяки и соавт. [204] доказали, что даже небольшие концентрации жирных кислот из суберина, экстрагируемого из коры *Betula* L., значительно увеличивают пароизоляционные характеристики гидрокси-пропилметилцеллюлозных пленок.

Использование для изготовления одежды и посуды. Д. Ли и соавт. [205] в Южном Китае нашли остатки одежды из дерева возрастом примерно 7900 лет. Сегодня по-прежнему одежда изготавливается из древесины. Л. Робертсон [206] описал традиционное изготовление одежды из коры *Ficus natalensis* Hochst., произрастающего в Африке. Кроме того, эта кора с давних времен используется как оберточный материал [207]. В некоторых регионах для изготовления горшков используется береста, кора липы, некоторых видов тополя и вязов. Различные корзины, сумки и другие изделия закручены или сплетены из спирально срезанной, выдержанной коры. Изделия из светлой коры можно использовать десятилетиями (например, для сбора грибов или фруктов). Известен фат об изготовлении сандалий из бересты [208].

Выводы

Таким образом, древесная кора как уникальный природный материал представляет огромный потенциал для использования в различных сферах нашей жизнедеятельности. Сложный химический состав, большое разнообразие вторичных метаболитов, физические и механические свойства древесной коры позволяют найти новые области ее применения и значительно расширить ассортимент получаемых продуктов.

Представленная работа выполнена в рамках проекта «Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017», EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. Реализация данного проекта осуществляется при финансовой поддержке Европейского Союза (European Union) и совместном финансировании со стороны Европейского Социального Фонда (European Social Fund).

Список литературы / References

- [1] FAO 2015: Forest products 2009–2013. FAO Forestry Series, 2015, no. 48. FAO Statistics Series no. 204.
- [2] Yang P., Jenkins B. M. Wood residues from sawmills in California. *Biomass and Bioenergy*, 2008, no. 32(2), pp. 101–108. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.09.001
- [3] Feng S., Cheng S., Yuan Z., Leitch M., Xu C. Valorization of bark for chemicals and materials: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, no. 26, pp. 560–578. DOI: 10.1016/j.rser.2013.06.024
- [4] Molnár S. Faanyagismeret («Wood material science»). Budapest: Mezőgazdasági Szaktudás kiadó, 2004, 471 p. (in Hungarian)
- [5] Ушанова В.М. Комплексная переработка древесной зелени и коры пихты сибирской с получением продуктов, обладающих биологической активностью: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.03. Красноярск, 2012. 580 с. Ushanova V.M. *Kompleksnaya pererabotka drevesnoy zeleni i kory pikhty sibirskoy s polucheniem produktov, obladayushchikh biologicheskoy aktivnost'yu*. [Complex processing of Siberian fir needles and bark for obtaining products having biological activity] Dis. Dr. Sci. (Tech.). Krasnoyarsk, 2012, 580 p.
- [6] Мелехов В.И., Тюрикова Т.В., Пономарева Н.Г. Энергетический потенциал древесной коры в программе ресурсосбережения // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2015. Т. 3, № 9–3 (20–3). С. 106–110. DOI: 10.12737 / 16877
- [7] Melekhov V.I., Tyurikova T.V., Ponomareva N.G. *Energeticheskiy potentsial drevesnoy kory v programme resursosberezheniya* [Energy potential of bark in resource saving program]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Current research areas of the XXI century: theory and practice], 2015, no. 9–3 (20–3), pp. 106–110. DOI: 10.12737 / 16877
- [8] Fekete Z. Erdőbecslés (Estimation of forest stocks). Budapest, Hungary: Akadémiai Kiadó, 1951, pp. 145–628. (in Hungarian)
- [9] Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: Лесная пром-сть, 1986. 365 с. Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science with the basics of forest product science]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1986, 365 p.
- [10] Sopp L., Kolozs L. Fatömegszámítási táblázatok [Tables for calculating wood volume] Budapest: Állami Erdészeti Szolgálat, 2000, pp. 24–29. (in Hungarian)
- [11] Guidi W., Piccioni E., Ginanni M., Bonari E. Bark content estimation in poplar (*Populus deltoides* L.) short-rotation coppice in Central Italy. *Biomass and bioenergy*, 2008, no. 32, pp. 518–524. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.11.012
- [12] Fodor F. Fásult személyi- Az árulkodó fakéreg. *Természetbúvár*, 2004, no. 59(3), pp. 2–5. (in Hungarian)
- [13] Тимонин А.К. Ботаника: в 4 т. Высшие растения. М.: Издательский центр «Академия», 2007. Т. 3. 352 с. Timonin A.K. *Botanika: v 4 t. Vysshie rasteniya* [Botany: in 4 vols. Higher plants]. M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya» [Publishing center «Academy»], 2007, v. 3, 352 p.
- [14] Ghosh D. Bark is the Hallmark. *Resonance*, 2006, no. 11(3), pp. 41–50.
- [15] Oskolski A.A., Wyk B.E.V. Wood and bark anatomy of *Centella*: scalariform perforation plates support an affinity with the subfamily Mackinlayoideae (Apiaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 2010, no. 289(3–4), pp. 127–135. DOI: 10.1007/s00606-010-0338-6

- [15] Schafer J.L., Breslow B.P., Hohmann M.G., Hoffmann W.A. Relative bark thickness is correlated with tree species distribution along a fire frequency gradient. *Fire Ecology*, 2015, no. 11(1), pp. 74–87. DOI: 10.4996/fireecology.1101074
- [16] Catry F.X., Rego F., Moreira F., Fernandes P.M., Pausas J.G. Post-fire tree mortality in mixed forests of central Portugal. *Forest Ecology and Management*, 2010, no. 260, pp. 1184–1192. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.07.010
- [17] Lawes M.J., Richards A., Dathe J., Midgley J.J. Bark thickness determines fire resistance of selected tree species from fire-prone tropical savanna in north Australia. *Plant Ecology*, 2011, no. 212, pp. 2057–2069. DOI: 10.1007/s11258-011-9954-7
- [18] Wang G.G., Wangen S.R. Does frequent burning affect longleaf pine (*Pinus palustris*) bark thickness? *Canadian Journal of Forest Research*, 2011, no. 41(7), pp. 1562–1565. DOI: 10.1139/X11-074
- [19] do Vale A.T., Elias P.S. Bark thermal protection level of four tree species and the relationship between bark architecture and heat transfer. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 2014, no. 24(4), pp. 979–987. DOI: 10.1590/1980-509820142404017
- [20] Dickinson M.B., Johnson E.A. Fire effects on trees. *Forest Fires: Behavior and Ecological Effects*. Chapter 14. Academic Press, 2001, pp. 477–525. DOI: 10.1016/b978-012386660-8/50016-7
- [21] Dickinson M.B. Heat transfer and vascular cambium necrosis in the boles of trees during surface fires. *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Millpress, Rotterdam, 2002, ed. 1–10. Available at: <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/14592> (accessed 05.02.2019).
- [22] Härtel O. Pollutants accumulation by bark. *Monitoring of Air Pollutants by Plants — Methods and Problems*. Eds. Steubing L., Jäger H.-J. W. Junk Publishers, The Hague, 1982, pp. 137–147.
- [23] Böhm P., Wolterbeek H., Verburg T., Mušilek L. The use of tree bark for environmental pollution monitoring in the Czech Republic. *Environmental Pollution*, 1998, no. 102, pp. 243–250. DOI: 10.1016/S0269-7491(98)00082-7
- [24] Saarela K.E., Harju L., Rajander J., Lill J.O., Heselius S.J., Lindroos A., Mattsson K. Elemental analyses of pine bark and wood in an environmental study. *Science of The Total Environment*, 2005, no. 343 (1–3), pp. 231–241. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.09.043
- [25] Mandiwana K.L., Resane T., Panichev N., Ngobeni P. The application of tree bark as bio-indicator for the assessment of Cr(VI) in air pollution. *J. Haz. Mater.*, 2006, no. B 137, pp. 1241–1245. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.04.015
- [26] Grodzinska K. Acidification of tree bark as a measure of air pollution in southern Poland. *Bull. Acad. Polon. Sci., Cl. 2, Sér. Sci. Biol.*, 1971, no. 19(3), pp. 189–195.
- [27] Grodzinska K. Acidity of tree bark as a bioindicator of forest pollution in southern Poland. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1978, no. 7, pp. 3–7.
- [28] Grodzinska K. Tree-bark — sensitive biotest for environment acidification. *Environment International*, 1979, no. 2(3), pp. 173–176. DOI: 10.1016/0160-4120(79)90075-8
- [29] Grodzinska K. Monitoring of air pollutants by mosses and tree bark. *Monitoring of Air Pollutants by Plants — Methods and Problems*. Eds. Steubing L., Jäger H.-J. W. Junk Publishers, The Hague, 1982, pp. 33–42.
- [30] Staxang B. Acidification of bark of some deciduous trees. *Oikos* 20, 1969, pp. 224–230. DOI: 10.2307/3543190
- [31] O'Hare G.P. Lichens and bark acidification as indicators of air pollution in west central Scotland. *J. Biogeogr.*, 1974, no. 1, pp. 135–146. DOI: 10.2307/3037960
- [32] Swieboda M., Kalembe A. The bark of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a biological indicator of atmospheric air pollution. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 1979, no. 48(4), pp. 539–549. DOI: 10.5586/asbp.1979.045
- [33] Santamaría J.M., Martín A. Tree bark as a bioindicator of air pollution in Navarra. *Spain Water, Air, and Soil Pollution*, 1997, no. 98, pp. 381–387. DOI: 10.1023/A:1026431211784
- [34] Kuang Y., Zhou G., Wen D., Liu S. Acidity and conductivity of *Pinus massoniana* bark as indicators to atmospheric acid deposition in Guangdong, China. *J. Environmental Sciences*, 2006, no. 18(5), pp. 916–920. DOI: 10.1016/S1001-0742(06)60014-4
- [35] Marmor L., Randlane T. Effects of road traffic on bark pH and epiphytic lichens in Tallinn. *Folia Cryptog. Estonica, Fasc.*, 2007, no. 43, pp. 23–37.
- [36] Steindor K., Palowski B., Góras P., Nadgórska-Socha A. Assessment of bark reaction of selected tree species as an indicator of acid gaseous pollution. *Polish J. Environment Studies*, 2011, no. 20(3), pp. 619–622.
- [37] Barnes D., Hamadan M. A., Ottaway J.M. The lead, copper and zinc content of tree rings and bark. *The Science of Total Environment*, 1976, no. 5, pp. 63–67. DOI: 10.1016/0048-9697(76)90024-3
- [38] Fatoki O.S., Ayodele E.T. Zinc and copper levels in tree barks as indicators of environmental pollution. *Environmental International*, 1991, no. 17, pp. 455–460. DOI: 10.1016/0160-4120(91)90279-Y
- [39] Lippo H., Poikolainen, J. Kubin E. The use of moss, lichen and pine bark in the nationwide monitoring of atmospheric heavy metal deposition in Finland. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1995, no. 85, pp. 2241–2246. DOI: 10.1007/BF01186167
- [40] Poikolainen J. Sulphur and heavy metal concentrations in Scots pine bark in northern Finland and the Kola Peninsula. *Water Air Soil Pollution*, 1997, no. 93, pp. 395–408. DOI: 10.1023/A:1022160930526
- [41] Schulz H., Popp P., Huhn G., Stärk H. J., Schürmann G. Biomonitoring of airborne inorganic and organic pollutants by means of pine tree barks. I. Temporal and spatial variations. In: *Biomonitoring of Atmospheric Pollution (with Emphasis on Trace Elements) – BioMAP (IAEA-TEC-DOC-1152)*. Ed. B. Smodis. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2000, pp. 149–158. DOI: 10.1016/S0048-9697(99)00109-6
- [42] Schulz H., Schulz U., Huhn G., Schürmann G. Biomonitoring of airborne inorganic and organic pollutants by means of pine tree barks. II. Deposition types and impact levels. In: *Biomonitoring of Atmospheric Pollution (with Emphasis on Trace Elements) – BioMAP (IAEA-TEC-DOC-1152)*. Ed. B. Smodis. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2000, pp. 159–167.
- [43] El-Hasan T., Al-Omari H., Jiries A., Al-Nasir F. Cypress tree (*Cupressus semervirens* L.) bark as an indicator for heavy metal pollution in the atmosphere of Amman City, Jordan. *Environment International*, 2002, no. 28, pp. 513–519. DOI: 10.1016/S0160-4120(02)00079-X
- [44] Gemici M., Gemici Y., Tan K. Sulphur content of Red pine (*Pinus brutia*) needles and bark as indicator of atmospheric pollution in Southwest Turkey. *Phytologia Balcanica*, 2006, no. 12(2), pp. 267–272.
- [45] Suzuki K. Characterisation of airborne particulates and associated trace metals deposited on tree bark by ICP-OES, ICP-MS, SEM-EDX and laser ablation ICP-MS. *Atmospheric Environment*, 2006, no. 40, pp. 2626–2634. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2005.12.022
- [46] Berlizov A.N., Blum O.B., Filby R.H., Malyuk I.A., Tryshyn V.V. Testing applicability of black poplar (*Populus*

- nigra* L.) bark to heavy metal air pollution monitoring in urban and industrial regions. *Science of the Total Environment*, 2007, no. 372, pp. 693–706. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.10.029
- [47] Han L.E., Li B.T., Lan S.F. Responses of the urban roadside trees to traffic environment. *Proceedings from the Fourth International Conference on Environmental Science and Technology*, July 28–31 2008, Houston, Texas, USA. Eds. George A. Sorial, Jihua Hong. *Environmental Science & Technology (II)*. Houston, USA: American Science Press, 2008, pp. 63–70.
- [48] Satake K., Tanaka A., Kimura K. Accumulation of lead in tree trunk bark pockets as pollution time capsules. *The Science of the Total Environment*, 1996, no. 181, pp. 25–30. DOI: 10.1016/0048-9697(95)04955-X
- [49] Bellis D.J., McLeod C.W., Satake K. Pb and 206Pb 207Pb isotopic analysis of a tree bark pocket near Sheffield, UK recording historical change in airborne pollution during the 20th Century. *The Science of the Total Environment*, 2002, no. 289, pp. 169–176. DOI: 10.1016/S0048-9697(01)01037-3
- [50] Bellis D.J., Satake K., Noda M., Nishimura N., McLeod C.W. Evaluation of the historical records of lead pollution in the annual growth rings and bark pockets of a 250-year-old *Quercus crispula* in Nikko, Japan. *The Science of the Total Environment*, 2002, no. 295, pp. 91–100. DOI: 10.1016/S0048-9697(02)00054-2
- [51] Wang Q., Zhu C., Wang Y., Huang Z., Li Z., Huang B. A novel sampling method for present and historical monitoring of air pollution by using tree bark. *Environmental Chemistry*, 2003, no. 22(3), pp. 250–254.
- [52] Åberga G., Abrahamsen G., Steinnes E., Hjelmseth H. Utilization of barkpockets as time capsules of atmospheric-lead pollution in Norway. *Atmospheric Environment*, 2014, no. 38, pp. 6231–6237. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2004.06.041
- [53] Conkova M., Kubiznakova J. Lead isotope ratios in tree bark pockets: An indicator of past air pollution in the Czech Republic. *Science of the Total Environment*, 2008, no. 404, pp. 440–445. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.04.025
- [54] Corder S.E. Properties and uses of bark as an energy source. Research paper 31, Oregon State University, School of Forestry, Forest Research Laboratory. Corvallis, Oregon 97331, 1976, 21 p.
- [55] Clark A.(III), Phillips D.R., Frederick D.J. Weight, volume and physical properties of major hardwood species in the Gulf and Atlantic coastal plains. USDA, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station Research Paper, 1985, 78 p.
- [56] Dibdiakova J., Gjølsjø S., Wang L. Solid biofuels from forest — fuel specification and quality assurance. Inherent properties of Norway spruce biomass in some geographical locations in South Norway. Report from Norwegian forest and landscape institute, 2014, v. 14/08, 44 p.
- [57] Németh K., Molnár S. Az akácfa égésmelegének és fűtőértékének vizsgálata. *Faipar*, 1983, no. 33(3), p.78–79. (in Hungarian)
- [58] Hakkila P. Utilization of Residual Forest Biomass. *Springer Series in Wood Science*, 1989, 568 p.
- [59] Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесная пром-сть, 1976. 160 с. Poluboyarinov O.I. *Plotnost' drevesiny* [Density of wood]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1976, 160 p.
- [60] Miles P.D., Smith W.B. Specific Gravity and Other Properties of Wood and Bark for 156 Tree Species Found in North America. U.S. Delaware: Forest service, Publications Distribution, 2009, 38 p.
- [61] Chang Y.P., Mitchell R.L. Chemical composition of common North American pulpwood barks. *Tappi*, 1955, no. 38(5), pp. 315–320.
- [62] Millikin D.E. Determination of bark volumes and fuel properties. *Pulp and paper magazine of Canada*, 1955, no. 56(13), pp. 106–108.
- [63] Житков А.В. Утилизация древесной коры. М.: Лесная пром-сть, 1985. 136 с. Zhitkov A.B. *Utilizatsiya drevesnoy kory* [Utilization of wood bark]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1985, 136 p.
- [64] Szendrey I. *Faipari kémiai technológia 1 «Wood chemistry»*. Sopron, Hungary: Egyetemi Jegyzet, 1986, 33 p. (in Hungarian)
- [65] Shin S. J., Han S. H. Investigation of solid energy potential of wood and bark obtained from four clones of a two-year old goat willow. *Frontiers in Energy Research*, 2014, no. 2, pp. 5–18. DOI: 10.3389/feeng.2014.00005
- [66] Дейнеко И.П., Фаустова Н.М. Элементный и групповой химический состав коры и древесины осины // Химия растительного сырья, 2015. № 1. С. 51–62. Deyneko I.P., Faustova N.M. *Elementnyy i gruppovoy khimicheskiy sostav kory i drevesiny osiny* [Element and group chemical composition of aspen bark and wood] *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2015, no. 1, pp. 51–62. DOI: 10.14258/jcprm.201501461
- [67] Naunes E., Qbuilhó T., Pereira H. Anatomy and chemical composition of *Pinus pinea* L. bark. *Annals of Forest Science*, 1999, no. 56(6), pp. 479–484. DOI: 10.1051/forest:19990604
- [68] Young H.E. Preliminary estimates of bark percentages and chemical elements in complete trees of eight species in Maine. *Aspen Bibliography*, 1971, p. 5461. Available at: http://digitalcommons.usu.edu/aspens_bib/5461 (accessed 05.02.2019).
- [69] Lambert M.J. Inorganic constituents in wood and bark of New South Wales forest tree species. Research Note. Sydney: Forestry Commission of New South Wales, 1981, no. 45, 43 p.
- [70] Ragland K.W., Aerts D.J. Properties of wood for combustion analysis. *Bioresource Technology*, 1991, no. 37, pp. 161–168. DOI: 10.1016/0960-8524(91)90205-X
- [71] Olander B., Steenari B.M. Characterization of ashes from wood and straw. *Biomass and Bioenergy*, 1995, no. 8(2), pp. 105–115. DOI: 10.1016/0961-9534(95)00004-Q
- [72] Piotrowska P., Skoglund N., Grimm A., Boman C., Öhman M., Zevenhoven M., Boström D., Hupa M. Systematic studies of ash composition during the co-combustion of rapeseed cake and bark. *Proceedings of the 21st International Conference on Fluidized Bed Combustion*, Naples, Italy, 2012, 183 p. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02682-9> (accessed 05.02.2019).
- [73] Miranda I., Gominho J., Mirra I., Pereira H. Chemical characterization of barks from *Picea abies* and *Pinus sylvestris* after fractioning into different particle sizes. *Industrial Crops and Products*, 2012, no. 36, pp. 395–400. DOI: 10.1016/j.indcrop.2011.10.035
- [74] Wang L., Dibdiakova J. Characterization of Ashes from Different Wood Parts of Norway Spruce Tree. *Chemical Engineering Transactions*, 2014, no. 37, pp. 37–42. DOI: 10.3303/CET1437007. ISSN 2283-9216.
- [75] Barboutis I., Lykidis C. The effects of bark on fuel characteristics of some evergreen Mediterranean hardwood species. *Proceedings of the 57th International Convention of Society of Wood Science and Technology*, Zvolen, Slovakia, 2014, pp. 533–540.
- [76] Harkin J.M., Rowe J.W. Bark and its possible uses. USDA. Forest Service, Research note, FPL-091, Forest Products Laboratory, 1971. 56 p.

- [77] Usta M., Kara Z. The chemical composition of wood and bark of *Cedrus libani* A. Rich. Holz als Roh- und Werkstoff, 1997, no. 55, pp. 268. DOI: 10.1007/BF02990561
- [78] Melin S. Bark as feedstock for production of wood pellets. Wood pellett asociacion of Canada, 2008. Available at: http://www.pellet.org/images/2008-12-11_Bark_as_feedstock_for_Production_of_Wood_Pellets_Report_December_2008.pdf. (accessed 05.02.2019).
- [79] Fradinho D.M., Neto C.P., Evtuguin D., Jorge F.C., Irlé M.A., Gil M.H., Pedrosa de Jesus J. Chemical characterization of bark and of alkaline bark extracts from maritime pine grown in Portugal. Industrial Crops and Products, 2002, no. 16, pp. 23–32. DOI: 10.1016/S0926-6690(02)00004-3
- [80] Jové P., Olivella M.Á., Cano L. Study of the variability in chemical composition of bark layers of *Quercus suber* L. from different production areas. BioResources, 2011, no. 6(2), pp. 1806–1815.
- [81] Cordeiro N., Belgacem M.N., Silvestre A.J.D., Neto C.P., Gandini, A. Cork suberin as a new source of chemicals. 1. Isolation and chemical characterization of its composition. International J. Biological Macromolecules, 1998, no. 22, pp. 71–80. DOI: 10.1016/S0141-8130(97)00090-1
- [82] Gandini A., Neto C.P., Silvestre A.J.D. Suberin: A promising renewable resource for novel macromolecular materials. Progress in Polymer Sciences, 2006, no. 31, pp. 878–892. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2006.07.004
- [83] Судакова И.Г., Гарынцева Н.В., Иванов И.П., Кузнецов Б.Н. Выделение и применение суберина из бересты коры березы // Журнал Сибирского федерального университета. Сер.: Химия, 2012. Т. 5. № 2. С. 168–177. Sudakova I.G., Garyntseva N.V., Ivanov I.P., Kuznetsov B.N. *Vydelenie i primeneniye suberina iz beresty kory berezy* [Isolation and application of suberin from outer birch-bark]. Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Khimiya [Journal of Siberian Federal University. Series: Chemistry], 2012, no. 5(2), pp. 168–177.
- [84] Portik K.I. A fenyő hasznosítása a Székelyföldön (Utilization of coniferous in Transylvania). Székelyföld- kulturális folyóirat, 2006, no. 10(12). (in Hungarian)
- [85] Narasimhachari N., von Rudloff E. The chemical composition of the wood and bark extractives of *Juniperus horizontalis* Moench. Canadian J. Chemistry, 1961, no. 39, pp. 2572–2581. DOI: 10.1139/v61-339
- [86] Rowe J.W., Bower C.L., Wagner E.R. Extractives of Jack pine bark: occurrence of cis- and trans-pinoylvin dimethyl ether and ferulic acid esters. Phytochemistry, 1969, no. 8, pp. 235–241. DOI: 10.1016/S0031-9422(00)85819-7
- [87] Abyshev A.Z., Agaev É.M., Guseinov A.B. Studies of the chemical composition of Birch bark extracts (Cortex betula) from the Betulaceae family. Pharmaceutival Chemistry J., 2007, no. 41(8), pp. 419–423. DOI: 10.1007/s11094-007-0091-5
- [88] Vázquez G., Fontenla E., Santos J., Freire M. S., González-Álvarez J., Antorrena G. Antioxidant activity and phenolic content of chestnut (*Castanea sativa*) shell and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark extracts. Industrial crops and products, 2008, no. 28, pp. 279–285. DOI: 10.1016/j.indcrop.2008.03.003
- [89] Pinto P.C.R.O., Sousa A.F., Silvestre A.J.D., Neto C.P., Gandini A., Eckerman C., Holmbom B. *Quercus suber* and *Betula pendula* outer barks as renewable sources of oleochemicals: A comparative study. Industrial Crops and Products, 2009, no. 29(1), pp. 126–132. DOI: 10.1016/j.indcrop.2008.04.015
- [90] Григорюк Г.П., Слостников И.И., Старостина Е.Б., Продаевич В.Г., Левин Д.В. Способ переработки коры деревьев хвойных пород / Пат. 2400357 Российская Федерация, МПК В27К 9/00, В01D 11/00, С08В 37/06/ заявитель и патентообладатель Григорюк Г.П. № 2008116537/04; заявл. 29.04.2008; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 27. 9 с. Grigoryuk G.P., Slastnikov I.I., Starostina E.B., Prodaevich V.G., Levin D.V. *Sposob pererabotki kory derev'ev khvoynykh porod* [Method for processing of conifer bark]. Patent RF, no. 2400357, 2010.
- [91] Santos S.A.O., Pinto P.C.R.O., Silvestre A.J.D., Neto C.P. Chemical composition and antioxidant activity of phenolic extracts of cork from *Quercus suber* L. Industrial Crops and Products, 2010, no. 31, pp. 521–526. DOI: 10.1016/j.indcrop.2010.02.001
- [92] Lin H., Zhang Y.W., Bao Y.L., Wu Y., Sun L.G., Yu C.L., Huang Y.X., Wang E.B., Li Y.X. Secondary metabolites from the stem bark of *Juglans mandshurica*. Biochemical Systematics and Ecology, 2013, no. 51, pp. 184–188. DOI: 10.1016/j.bse.2013.08.010
- [93] Thalhamer B., Himmelsbach M. Characterization of quillaja bark extracts and evaluation of their purity using liquid chromatography – high resolution mass spectrometry. Phytochemistry Letters, 2014, no. 8, pp. 97–100. DOI: 10.1016/j.phytol.2014.02.009
- [94] Kempainen K., Siika-aho M., Pattathil S., Giovando S., Kruus S. Spruce bark as an industrial source of condensed tannins and non-cellulosic sugars. Industrial Crops and Products, 2014, no. 52, pp. 158–168. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.10.009
- [95] Кузнецов Б.Н., Левданский В.А., Кузнецова С.А. Химические продукты из древесной коры. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. 260 с. Kuznetsov B.N., Levdanskiy V.A., Kuznetsova S.A. *Khimicheskie produkty iz drevesnoy kory* [Chemical products from bark: monography]. Krasnoyarsk: Sibirskiy federal'nyy universitet [Siberian Federal University], 2012, 260 p.
- [96] Szalay L. A fahulladék hasznosítása (Utilization of wood waste). Budapest, Hungary: Műszaki Könyvkiadó, 1981, 227 p. (in Hungarian)
- [97] Васильев А.С. Классификация способов окорки древесины // Актуальные направления научных исследований: от теории к практике, 2015. № 3 (5). С. 258–260. Vasil'ev A.S. *Klassifikatsiya sposobov okorki drevesiny* [Classification of wood debarking methods]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy: ot teorii k praktike [Current research directions: from theory to practice], 2015, no. 3 (5), pp. 258–260.
- [98] Hargitai L. Fűrészárú (Timber products). Budapest Hungary: Szaktudás Kiadó Ház Rt., 2003, 171 p. (in Hungarian)
- [99] Baroth R. Literature review of the latest development of wood debarking. University of Oulu, Control Engineering Laboratory, 2005, Report A, no. 27, 29 p.
- [100] Ressel J.B. Wood yard operations, in: Handbook of Pulp. Ed. H. Sixta. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2006, pp. 69–107. DOI: 10.1002/9783527619887.ch3
- [101] Einspahr D.W., Van Eperen R.H., Fiscus M.L. Morphological and bark strength characteristics important to wood/bark adhesion in hardwoods. Wood and Fiber Science, 1984, no. 16(3), pp. 339–348.
- [102] Chow S., Obermajer A. Wood-to-bark adhesion of subalpine fir (*Abies lasiocarpa*) in extreme temperatures. Wood Science and Technology, 2004, no. 38, pp. 391–403. DOI 10.1007/s00226-004-0247-3
- [103] Rápóti J., Romváry V. Gyógyító Növények (Healing plants). Budapest, Hungary: Medicina Könyvkiadó Rt, 1997, 512 p. (in Hungarian)
- [104] Grace O.M., Prendergast H.D.V., Jager A.K., van Staden J. Bark medicines used in traditional healthcare in KwaZulu-Natal, South Africa: An inventory. South African

- Journal of Botany, 2003, no. 69(3), pp. 301–363.
DOI: 10.1016/S0254-6299(15)30318-5
- [105] Tóth L. Gyógynövények, drogok, fitoterápia (Herbs, drugs and fitotherapy), Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, Hungary, 2005, 586 p. (in Hungarian).
- [106] Berahou A., Auhmani A., Fdil N., Benharref A., Jana M., Gadhi C.A. Antibacterial activity of *Quercus ilex* bark's extracts. *J. Ethnopharmacology*, 2007, no. 112, pp. 426–429. DOI: 10.1016/j.jep.2007.03.032
- [107] Diouf P.N., Stevanovic T., Cloutier A. Study on chemical composition, antioxidant and anti-inflammatory activities of hot water extract from *Picea mariana* bark and its proanthocyanidin-rich fractions. *Food Chemistry*, 2009, no. 113, pp. 897–902.
DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.08.016
- [108] Kiran A.W., Chandrakant S.M. Pharmacognostic profiles of bark of *Careya arborea* Roxb. *J. Pharmacognosy and Phytotherapy*, 2009, no. 1(5), pp. 064–066.
- [109] Zhang L., Chen J., Wang Y., Wu D., Xu M. Phenolic Extracts from *Acacia mangium* Bark and Their Antioxidant Activities. *Molecules*, 2010, no. 15, pp. 3567–3577.
DOI: 10.3390/molecules15053567
- [110] Liu Z., Zhang X., Cui W., Zhang X., Li N., Chen J., Wong A.W., Roberts A. Evaluation of short-term and subchronic toxicity of magnolia bark extract in rats. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2007, no. 49(3), pp. 160–171.
DOI: 10.1016/j.yrtph.2007.06.006
- [111] Orlandi L., Vilela F.C., Santa-Cecilia F.V., Dias D.F., Alves-da-Silva G., Giusti-Paiva A. Anti-inflammatory and antinociceptive effects of the stem bark of *Byrsonima intermedia* A. Juss. *J. Ethnopharmacology*, 2011, no. 137(3), pp. 1469–1476. DOI: 10.1016/j.jep.2011.08.032
- [112] Vasconcelos C.F., Maranhão H.M., Batista T.M., Carneiro E.M., Ferreira F., Costa J., Soares L.A., Sá M.D., Souza T.P., Wanderley A.G. Hypoglycaemic activity and molecular mechanisms of *Caesalpinia ferrea* Martius bark extract on streptozotocin-induced diabetes in Wistar rats. *J. Ethnopharmacology*, 2011, no. 137(3), pp. 1533–1541.
DOI: 10.1016/j.jep.2011.08.059
- [113] Annegowda H.V., Gooi T.S., Awang S.H.H., Alias N.A., Mordi M. N., Ramanathan S., Mansor, S. M. Evaluation of Analgesic and Antioxidant Potency of Various Extracts of *Cinnamomum iners* Bark. *International J. Pharmacology*, 2012, no. 8(3), pp. 198–203.
DOI: 10.3923/ijp.2012.198.203
- [114] Boakye P.A., Brierley S.M., Pasilis S.P., Balemba O.B. *Garcinia buchananii* bark extract is an effective anti-diarrheal remedy for lactose-induced diarrhea. *J. Ethnopharmacology*, 2012, no. 142(2), pp. 539–547.
DOI: 10.1016/j.jep.2012.05.034
- [115] Орловская Т.В., Гюльбякова Х.Н., Гужва Н.Н., Огурцов Ю.А. Изучение коры липы сердцелистной с целью создания новых лекарственных средств // Современные проблемы науки и образования, 2013. № 2. С. 427. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8561>. (дата обращения 27.03.2020). Orlovskaya T.V., Gyl'byakova Kh.N., Guzhva N.N., Ogurtsov Yu.A. *Izuchenie kory lipy serdtselistnoy s tsel'yu srzdaniya novykh lekarstvennykh sredstv* [Studying the *Tilia cordata* L. bark with the purpose of creation the new medicines]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2013, no. 2, pp. 427. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8561> (accessed 27.03.2020).
- [116] Terangpi R., Basumatary R., Tamuli A.K., Teron R. Pharmacognostic and Physicochemical evaluation of stem bark of *Acacia pennata* (L.) Willd., a folk plant of the Dimasa tribe of Assam. *J. Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2013, no. 2(2), pp. 134–140.
- [117] Comandini P., Lerma-García M.J., Simó-Alfonso E.F., Toschi T.G. Tannin analysis of chestnut bark samples (*Castanea sativa* Mill.) by HPLC-DAD–MS. *Food Chemistry*, 2014, no. 157, pp. 290–295.
DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.02.003
- [118] Jyske T., Laakso T., Latva-Mäenpää H., Tapanila T., Saranpää P. Yield of stilbene glucosides from the bark of young and old Norway spruce stems. *Biomass and bioenergy*, 2014, no. 71, pp. 216–227.
DOI: 10.1016/j.biombioe.2014.10.005
- [119] Poyraz M.U., Mat A. The miracle bark Chinhona and malaria in the Ottoman Empire. XI National Conference on the History of Turkish Pharmacy 25–28 May 2014. Poster Session, Abstarct Lokman Hekim Journal, 2014, p. 60.
- [120] Kotina E.L., Van Wyk B.E., Tilney P.M. Anatomy of the leaf and bark of *Warburgia salutaris* (Canellaceae), an important medicinal plant from South Africa. *South African J. Botany*, 2014, no. 94, pp. 177–181.
DOI: 10.1016/j.sajb.2014.06.008
- [121] Sarkar R., Chaudhary S.K., Sharma A., Yadav K.K., Nema N.K., Sekhoacha M., Karmakar S., Braga F.C., Matsabisa M.G., Mukherjee P.K., Sen T. Anti-biofilm activity of *Marula* — A study with the standardized bark extract. *J. Ethnopharmacology*, 2014, no. 154, pp. 170–175.
DOI: 10.1016/j.jep.2014.03.067
- [122] Ponomarenko J., Trouillas P., Martin N., Dizhbite T., Krasilnikova J., Telysheva G. Elucidation of antioxidant properties of wood bark derived saturated diarylheptanoids: A comprehensive (DFT-supported) understanding. *Phytochemistry*, 2014, no. 103, pp. 178–187.
DOI: 10.1016/j.phytochem.2014.03.010
- [123] Navid H., Laszczyk-Lauer M.N., Reichling J., Schnitzler P. Pentacyclic triterpenes in birch bark extract inhibit early step of herpes simplex virus type 1 replication. *Phytochemistry*, 2014, no. 21, pp. 1273–1280.
DOI: 10.1016/j.phymed.2014.06.007
- [124] Kim Y.G., Lee J.H., Kim S. I., Baek K.H., Lee J. Cinnamon bark oil and its components inhibit biofilm formation and toxin production. *International J. Food Microbiology*, 2015, no. 195, pp. 30–39.
DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.11.028
- [125] Venkatesan T., Choi Y.W., Kim Y.K. The cytotoxic nature of *Acanthopanax sessiliflorus* stem bark extracts in human breast cancer cells. *Saudi J. Biological Sciences*, 2015, no. 22 (6), pp. 752–759. DOI: 10.1016/j.sjbs.2015.04.004
- [126] Gil L. Cork powder waste: an overview. *Biomass and Bioenergy*, 1997, no. 13 (1/2), pp. 59–61.
DOI: 10.1016/S0961-9534(97)00033-0
- [127] Pecznik P., Körmendi P. (szerk.) *Hőenergia Gazdálkodás- biomassza Tüzelés* (Thermal energy management and biomass burning), FM Műszaki Int. 1997, Gödöllő, Hungary, 2002, pp. 23–39. (in Hungarian)
- [128] Kamikawa D., Kuroda K., Inoue M., Kubo S., Yoshida T. Evaluation of combustion properties of wood pellets using a cone calorimeter. *J. Wood Sciences*, 2009, no. 55, pp. 453–457. DOI: 10.1007/s10086-009-1061-1
- [129] Lehtikangas P. Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. *Biomass and Bioenergy*, 2001, no. 20, pp. 351–360.
DOI: 10.1016/S0961-9534(00)00092-1
- [130] Filbakk T., Jirjis R., Nurmi J., Høibø O. The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets. *Biomass and bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 3342–3349. DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.09.011
- [131] Bittner A., Schneider A. *Wertvoller Humus aus Rinde*. *Holz- Zentralblatt*, 1975, no. 73–74, p. 956.
- [132] Blossfeld O. Einsatzmöglichkeiten für Rinden sind geklärt. *Informationen für den Industriezweig Schnittholz und Holzwaren*, 1977, no. 4, p. 319.

- [133] Nagy G., Novák Á., Osztrólczyk M. Zöld szerkezetek – Green Design. Budapest: Ybl Miklós Műszaki Főiskola, 1998, 168 p. (in Hungarian).
- [134] Whiting D., Wilson C., Moravec C., Reeder J. Mulching with Wood/Bark Chips, Grass Clippings, and Rock. Colorado Master Gardeners Program, Colorado State University Extension. Ft. Collins, CO, USA: Yard and Garden Publications, 2018, 614 p.
- [135] Береснев Р.С. Использование коры на удобрение // Деревообрабатывающая промышленность, 1975. № 12. С. 22–24. Beresnev R.S. *Ispol'zovanie kory na udobrenie* [The use of bark for fertilizer]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 1975, no. 12, pp. 22–24.
- [136] Asztalos J. A fakéreghasznosítás irányzatai a szocialista országokban. *Faipar*, 1977, no. 27(8), pp. 239–244. (in Hungarian)
- [137] Asztalos J., Szabó P. A fakéreg hasznosítása Lengyelországban. *Faipar*, 1975, no. 25(12), pp. 363–366. (in Hungarian)
- [138] Ábri J., Gömöry P., Horváth A. Természetes eredetű növénykondicionáló készítmény és eljárás annak alkalmazására (Plant conditioning composition of natural origin and process for using it). Szabadalmi oltalom (Patent protection WO2010150034 A2), Budapest, 2010. (in Hungarian)
- [139] Labosky J.P., Holleman K.A., Dick J.W., So D.T. Utilization of bark residues as poultry litter. *Forest Products J.*, 1977, no. 1, pp. 28–32.
- [140] Дудкин М.С., Дарманьян П.М. Древесина и отходы ее переработки как кормовые продукты // Химия древесины, 1978. № 1. С. 3–17. Dudkin M.C., Darman'yan P.M. *Drevesina i otkhody ee pererabotki kak kormovyye produkty* [Wood and waste of its processing as feed products]. *Khimiya drevesiny* [Wood chemistry], 1978, no. 1, pp. 3–17.
- [141] Deppe H.J., Ernst K. Taschenbuch der Spanplatten-technik, DRW-Verlag, Stuttgart, Germany, 1977. 265 p. (in German)
- [142] Dost W.A. Redwood bark fiber in particleboard. *Forest Product J.*, 1971, no. 21(10), pp. 38–43.
- [143] Chen T.Y., Paulitsch M., Soto G. On the suitability of the biological surface mass from spruce thinnings as raw material for particleboard. *Holz Roh-Werkst*, 1972, no. 30(1), pp. 15–18. DOI: 10.1007/BF02615026
- [144] Gertjeansen R., Haygreen J.G. Effect of aspen bark from butt and upper logs on the physical properties of wafer-type and flake-type particleboards. *Forest Product J.*, 1973, no. 23(9), pp. 66–71.
- [145] Heebink B.G. Particleboards from Lodgepole Pine Forest Residue (Research Paper FPL 221), U.S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, Madison, WI, USA, 1974, 16 p.
- [146] Lehmann W.F., Geimer R.L. Properties of structural particleboards from Douglas-fir forest residues. *Forest Product J.*, 1974, no. 24(10), pp. 17–25.
- [147] Anderson A.B., Wong A., Wu K.T. Utilization of white fir bark in particleboard. *Forest Products J.*, 1974, no. 24(1), pp. 51–54.
- [148] Anderson A.B., Wong A., Wu K.T. Utilization of white fir bark and its extract in particleboard. *Forest Products J.*, 1974, no. 24(7), pp. 40–45.
- [149] Anderson A.B., Wong A., Wu K.T. Utilization of Ponderosa pine bark and its extract in particleboard. *Forest Products J.*, 1974, no. 24(8), pp. 48–53.
- [150] Starecki A. Spanplatten aus Holz mit Rindenanteil. *Holztechnologie*, 1979, no. 20(2), pp. 108–111.
- [151] Muszynski Z., McNatt J.D. Investigations on the use of spruce bark in the manufacture of particleboard in Poland. *Forest Products J.*, 1984, no. 34(1), pp. 28–35.
- [152] Chow P., Nakayama F.S., Blahnik B., Youngquist J.A., Coffelt T.A. Chemical constituents and physical properties of guayule wood and bark. *Industrial Crops and Products*, 2008, no. 28, pp. 303–308. DOI: 10.1016/j.indcrop.2008.03.006
- [153] Blanchet P., Cloutier A., Riedl B. Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues. *Wood Science and Technology*, 2000, no. 34(1), pp. 11–19. DOI: 10.1007/s002260050003
- [154] Kehr E. Untersuchungen zum Einfluss der Rinde bei der Verarbeitung unentrindeten Holzes in der Deckschicht von Spanplatten. *Holztechnologie*, 1979, no. 20, pp. 32–39.
- [155] Pedieu R., Riedl B., Pichette A. Properties of mixed particleboards based on white birch (*Betula papyrifera*) inner bark particles and reinforced with wood fibres. *European J. Wood and Wood Products*, 2009, no. 67(1), pp. 95–101. DOI: 10.1007/s00107-008-0297-6
- [156] Nemli G., Colakoglu G. Effects of Mimosa Bark Usage on Some Properties of Particleboard. *Turkish J. Agriculture and Forestry*, 2005, no. 29(3), pp. 227–230.
- [157] Miyazaki J., Hirabayashi Y. Effect of the addition of Acacia mangium bark on thermosetting of phenol-formaldehyde resin. *Wood Science and Technology*, 2011, no. 45(3), pp. 449–460. DOI: 10.1007/s00226-010-0342-6
- [158] Hoong Y.B., Paridah M.T., Loh Y.F., Jalaluddin H., Chuah L.A. A new source of natural adhesive: Acacia mangium bark extracts co-polymerized with phenol-formaldehyde (PF) for bonding Mempisang (*Annonaceae* spp.) veneers. *International J. Adhesion and Adhesives*, 2011, no. 31(3), pp. 164–167. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2010.12.002
- [159] Hoong Y.B., Paridah M.T., Luqman C.A., Koh M.P., Loh Y.F. Fortification of sulfited tannin from the bark of Acacia mangium with phenol-formaldehyde for use as plywood adhesive. *Industrial Crops and Products*, 2009, no. 30, pp. 416–421. DOI: 10.1016/j.indcrop.2009.07.012
- [160] Gupta G.K. Development of Bark-based Environmental-friendly Composite Panels. Master's thesis. Toronto, Canada: University of Toronto, 2009, 133 p.
- [161] Pedieu R., Riedl B., Pichette A. Properties of white birch (*Betula papyrifera*) outer bark particleboards with reinforcement of coarse wood particles in the core layer. *Annals of Forest Science*, 2008, no. 65(7), pp. 701. DOI: 10.1051/forest:2008053
- [162] Pedieu R., Riedl B., Pichette A. Physical and mechanical properties of panel based on outer bark of white birch: mixed panels with wood particles versus wood fibers. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 2008, no. 10(3), pp. 195–206. DOI: 10.4067/S0718-221X2008000300003
- [163] Cheng X., Deng J., Zhang S.Y., Riedl B., Cloutier A. Impact of bark content on the properties of medium density fiberboard (MDF) in four species grown in eastern Canada. *Forest products*, 2006, no. 56(3), pp. 64–69.
- [164] Winkler A. A fakéreg struktúrájának és megfelelő fizikai-mechanikai tulajdonságú fakéreglapok gyárthatóságának kapcsolata (Connection of Tree Bark Structure and Mechanical and Physical Properties of Board Production). Diss. Ph.D., University of Forest and Wood Science, Sopron, Hungary, 1978. (in Hungarian)
- [165] Kain G., Barbu M.C., Teischinger A., Musso M., Petutschnigg A. Substantial Bark Use as Insulation Material. *Forest Products J.*, 2012, no. 62(6), pp. 480–487.
- [166] Kain G., Barbu M.C., Hinterreiter S., Richter K., Petutschnigg A. Using bark as a heat insulation material. *BioResources*, 2013, no. 8(3), pp. 3718–3731. DOI: 10.15376/biores.8.3.3718-3731

- [167] Kain G., Güttler V., Barbu M.C., Petutschnigg A., Richter K., Tondi G. Density related properties of bark insulation boards bonded with tannin hexamine resin. *European J. Wood and Wood Products*, 2014, no. 72(4), pp. 417–424. DOI: 10.1007/s00107-014-0798-4
- [168] Kain G., Heinzmann B., Barbu M.C., Petutschnigg A. Softwood bark for modern composites. *ProLigno*, 2013, no. 9(4), pp. 460–468.
- [169] Sato Y., Konishi T., Takahashi A. Development of insulation material using natural tree bark. *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, 2004, no. 29(5), pp. 1937–1940.
- [170] Yemele M.C.N., Koubaa A., Cloutier A., Soullounganga P., Wolcott M. Effect of bark fiber content and size on the mechanical properties of bark/HDPE composites, Composites Part A. *Applied Science and Manufacturing*, 2010, no. 41(1), pp. 131–137. DOI: 10.1016/j.compositesa.2009.06.005
- [171] Castro O., Silva J. M., Devezas T., Silva A., Gil L. Cork agglomerates as an ideal core material in lightweight structures. *Materials and Design*, 2010, no. 31, pp. 425–432. DOI: 10.1016/j.matdes.2009.05.039
- [172] Hernández-Olivares F., Bollati M.R., del Rio M., Parga-Landa B. Development of cork-gypsum composites for building applications. *Construction and Building Materials*, 1999, no. 13, pp. 179–186. DOI: 10.1016/S0950-0618(99)00021-5
- [173] Руденко Б.Д. Влияние состава на формирование свойств плит из коры и вторичного полиэтилена // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник, 2010. № (4). С. 151–154. Rudenko B.D. *Vliyanie sostava na formirovanie svoystv plit iz kory i vtorichnogo polietilena* [Influence of composition on formation of properties of plates made of bark and secondary polyethylene]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2010, no. 4, pp. 151–154.
- [174] Vajda B. Parafa az építőiparban (Cork in the building industry), 2006. Available at: <http://fenntarthato.hu/> (accessed 05.02.2019). (in Hungarian)
- [175] Raymund R. A fakéreg («The treebark»). *A Természet*, 1940, no. 36(1), pp. 2–5. (in Hungarian)
- [176] Şen A., Isabel Miranda I., Santos S., Graça J., Pereira H. The chemical composition of cork and phloem in the rhytidome of *Quercus cerris* bark. *Industrial Crops and Products*, 2010, no. 31(2), pp. 417–422. DOI: 10.1016/j.indcrop.2010.01.002
- [177] Şen A., Quilhó T., Pereira H. The cellular structure of cork from *Quercus cerris* var. *cerris* bark in a materials' perspective. *Industrial Crops and Products*, 2011, no. 34(1), pp. 929–936. DOI: 10.1016/j.indcrop.2011.02.015
- [178] Oramahi H. A., Diba F. Maximizing the Production of Liquid Smoke from Bark of Durio by Studying Its Potential Compounds. *Procedia Environmental Sciences*, 2013, no. 17, pp. 60–69. DOI: 10.1016/j.proenv.2013.02.012
- [179] Şensöz S. Slow pyrolysis of wood barks from *Pinus brutia* Ten. and product compositions. *Bioresource Technology*, 2003, no. 89, pp. 307–311. DOI: 10.1016/S0960-8524(03)00059-2
- [180] Venter P.B., Senekal N.D., Kemp G., Amra-Jordaan M., Khan P., Bonnet S.L., van der Westhuizen J.H. Analysis of commercial proanthocyanidins. Part 3: The chemical composition of wattle (*Acacia mearnsii*) bark extract. *Phytochemistry*, 2012, no. 83, pp. 153–167. DOI: 10.1016/j.phytochem.2012.07.012
- [181] Anderson A.B., Wong A., Wu K.T. Douglas-Fir and Western Hemlock Bark Extracts as Bonding Agents for Particleboard. *Forest Products J.*, 1975, no. 25(3), pp. 45–48.
- [182] Saayman H.M., Oatley J.A. Wood adhesives from wattle bark extract. *Forest Products J.*, 1976, no. 26(11–12), pp. 27–33.
- [183] Судакова И.Г., Иванов И.П., Иванченко Н.М., Кузнецов Б.Н. Защитные составы для древесины на основе суберина коры березы // Химия растительного сырья, 2005. № 1. С. 59–63. Sudakova I.G., Ivanov I.P., Ivanchenko N.M., Kuznetsov B.N. *Zashchitnye sostavy dlya drevesiny na osnove suberina kory berezy* [Protective compositions for wood on the basis of the suberin of birch bark]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2005, no. 1, pp. 59–63.
- [184] Schweizer G. Versuche zur Optimierung der Schlammentwässerung und zur Verwertung von Rinde und Schlamm in der Ziegelindustrie. *Wochenblatt für Papierfabrikation*, 1975, no. 22, pp. 833–839.
- [185] Schweizer G., Meigel P. Über die Verwertung von Entzündungsabfall als Porosierungstoff in der Ziegelindustrie. *Das Papier*, 1977, no. 10A, V27–V32.
- [186] Liversidge R.M., Murray M.H. Possible use of sawdust in clay building bricks should help many sawmillers. *Australian Forest Industries*, 1977, no. 43(2), pp. 48–49.
- [187] Oldrich D. Eljárás fűzfavessző kéreg hasznosítására (Method for the use of willow bark), 1911. (in Hungarian)
- [188] Schneider A., Baums A. *Wohin mit der Rinde?* DRW-Verlag GmbH, Stuttgart, Germany, 1970, 52 p.
- [189] Randall J.M., Hautala E., Waiss C.A., Tschernitz J.L. Modified barks as scavengers for heavy metal ions. *Forest Products J.*, 1976, no. 26, pp. 46–50.
- [190] Patnukao P., Pavasant P. Activated carbon from *Eucalyptus camaldulensis* Dehn bark using phosphoric acid activation. *Bioresource Technology*, 2008, no. 99(17), pp. 8540–8543. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.10.049
- [191] Palma G., Freer J., Baeza J. Removal of metal ions by modified *Pinus radiata* bark and tannins from water solutions. *Water Research*, 2003, no. 37, pp. 4974–4980. DOI: 10.1016/j.watres.2003.08.008
- [192] Salem N.M., Awwad A.M. Biosorption of Ni(II) from electroplating wastewater by modified (*Eriobotrya japonica*) loquat bark. *J. Saudi Chemical Society*, 2014, no. 18(5), pp. 379–386. DOI: 10.1016/j.jscs.2011.07.008
- [193] Kafle G.K., Chen L., Neibling H., He B.B. Field evaluation of wood bark-based down-flow biofilters for mitigation of odor, ammonia, and hydrogen sulfide emissions from confined swine nursery barns. *J. Environmental Management*, 2015, no. 147, pp. 164–174. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.09.004
- [194] Cutillas-Barreiro L., Ansias-Manso L., Fernández-Calvino D., Arias-Estévez M., Nóvoa-Munoz J. C., Fernández-Sanjurjo M. J., Alvarez-Rodríguez E., Núñez-Delgado A. Pine bark as bio-adsorbent for Cd, Cu, Ni, Pb and Zn: Batch-type and stirred flow chamber experiments. *J. Environmental Management*, 2014, no. 144, pp. 258–264. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.06.008
- [195] Vajda M. Kezelt fakéreg lipidek eltávolítására vízből (Treated tree bark for removal of lipids from water). *Környezetvédelem- információs folyóirat*, 2002, BME-OMIKK 17–18, pp. 61–70. (in Hungarian)
- [196] Семенович А.В., Лоскутов С.Р., Пермьякова Г.В. Сбор проливов нефтепродуктов модифицированной корой хвойных пород // Химия растительного сырья, 2008. № 2. С. 113–118. Semenovich A.V., Loskutov S.R., Permyakova G.V. *Sbor prolivov nefteproduktov modifitsirovannoy koroy khvoynykh porod* [Collection of oil spills by modified bark of coniferous]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2008, no. 2, pp. 113–118.

- [197] Семенович А.В., Лоскутов С.Р. Кора хвойных пород — перспективное сырье для изготовления сорбентов различного назначения // Биотехнология и общество в XXI веке: Сб. статей Междунар. науч.-практ. конф., Барнаул, 15–18 сентября 2015 г. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2015. С. 269–272. Semenovich A.V., Loskutov S.R. *Kora khvoynykh porod — perspektivnoe syr'e dlya izgotovleniya sorbentov razlichnogo naznacheniya* [The bark of coniferous trees is a promising raw material for the manufacture of various sorbents]. *Biotechnologiya i obshchestvo v XXI veke: Sbornik statey Mezhd. nauch.-prakt. konf.*, 15–18 sentyabrya 2015 g., Barnaul [Biotechnology and Society in the XXI century: Proc. of Int. scien. pract. conf.]. Barnaul: Altai State University, 2015, pp. 269–272.
- [198] Andres Y., Dumont E., Le Cloirec P., Ramirez-Lopez E. Wood bark as packing material in a biofilter used for air treatment. *Environmental Technology*, 2006, no. 27(12), pp. 1297–1301. DOI: 10.1080/09593332708618747
- [199] Valentin L., Kluczek-Turpeinen B., Willför S., Hemming J., Hatakka A., Steffen K., Tuomela M. Scots pine (*Pinus sylvestris*) bark composition and degradation by fungi: Potential substrate for bioremediation. *Bioresource Technology*, 2010, no. 101(7), pp. 2203–2209. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.11.052
- [200] Cordeiro N., Belgacem M.N., Gandini A., Neto C.P. Urethanes and polyurethanes from suberin: I. Kinetic study. *Industrial Crops and Products*, 1997, no. 6, pp. 163–167. DOI: 10.1016/S0926-6690(96)00212-9
- [201] García D.E., Glasser W.G., Pizzi A., Paczkowski S., Laborie M.P. Hydroxypropyl tannin from *Pinus pinaster* bark as polyol source in urethane chemistry. *European Polymer J.*, 2015, no. 67, pp. 152–165. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2015.03.039
- [202] Muñoz F., Ballerini A., Gacitúa W. Variability of physical, morphological and thermal properties of *Eucalyptus nitens* bark fiber. *Maderas Ciencia y Tecnología*, 2013, no. 15(1), pp. 17–30. DOI: 10.4067/S0718-221X2013005000002
- [203] Макарычев С.В. Теплофизические свойства термопластов, изготовленных на основе древесины из отходов лесной промышленности // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2015. № 6 (128). С. 139–142. Makarychev S.V. *Teplofizicheskie svoystva termoplastov, izgotovlennykh na osnove drevesiny iz otkhodov lesnoy promyshlennosti* [Thermophysical properties of thermoplastics made on the basis of wood wastes]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agramogo universiteta* [Altai State Agricultural University bulletin], 2015, no. 6 (128), pp. 139–142.
- [204] Heinämäki J., Halenius A., Paavo M., Alakurtti S., Pitkänen P., Pirttimaa M., Paaver U., Kirsimäe K., Kogermann K., Yliruusi J. Suberin fatty acids isolated from outer birch bark improve moisture barrier properties of cellulose ether films intended for tablet coatings. *International J. Pharmaceutics*, 2015, no. 489(1–2), pp. 91–99. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2015.04.066
- [205] Li D., Wang W., Tian F., Liao W., Ba C.J. The oldest bark cloth beater in southern China (Dingmo, Bubing basin, Guangxi). *Quaternary International*, 2014, no. 354, pp. 184–189. DOI: 10.1016/j.quaint.2014.06.062
- [206] Robertson L. Rethinking material culture: Ugandan bark cloth. *Proceedings of Textile Society of America Symposium, 14th Biennial Symposium, September 10–14, 2014, Los Angeles, USA, Paper 897*. Available at: <http://digitalcommons.unl.edu/tsaconf/897> (accessed 05.02.2019).
- [207] Östlund L., Ahlberg L., Zackrisson O., Bergman I., Arno S. Bark-peeling, food stress and tree spirits – The use of pine inner bark for food in Scandinavia and North America. *J. Ethnobiology*, 2009, no. 29(1), pp. 94–112. DOI: 10.2993/0278-0771-29.1.94
- [208] Szatyor Gy. *Famüvesség (Wood skills)*. Budapest, Hungary: Mezőgazdasági Kiadó, 1986, 166 p. (in Hungarian)

Сведения об авторах

Пастори Золтан — Ph.D, директор Инновационного центра, Шопронский университет, г. Шопрон, Венгрия, pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

Горбачева Галина Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры древесиноведения и технологии деревообработки, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), gorbacheva@bmstu.ru

Санаев Виктор Георгиевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой древесиноведения и технологии деревообработки, директор Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана, rector@mgul.ac.ru

Мохачине Ильдико Ронец — Ph.D, исследователь Инновационного центра, Шопронский университет, г. Шопрон, Венгрия, ildiko.ronyecz@gmail.com

Борчок Золтан — Ph.D, исследователь Инновационного центра, Шопронский университет, г. Шопрон, Венгрия, borcsok.zoltan@uni-sopron.hu

Поступила в редакцию 15.06.2020.

Принята к публикации 02.07.2020.

STATE AND PROSPECTS OF TREE BARK USE

Z. Pásztor¹, G.A. Gorbacheva², V.G. Sanaev², I.R. Mohácsiné¹, Z. Börcsök¹

¹University of Sopron, Innovation Center, 4, Bajcsy-Zsilinszky utca, 9400, Sopron, Hungary

²BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

gorbacheva@bmstu.ru

The tree bark has been used by mankind for centuries in various ways. The bark has special structure and chemical components, and it is used mostly among the natural raw materials. The bark has numerous functions during the lifespan of the plant, while itself is also changing due to its age. The outer bark is very diverse, depending on the species, the age and ecological factors. Between 3 and 4 hundred thousand cubic meter bark is produced yearly by forestry and woodworking industry, which is utilized in many ways, most of the bark is still burned. The article provides a literature review in the field of studies of the structure, properties, traditional and modern methods of using tree bark. After a short anatomical review, the protective role of bark for a living tree, the use of bark as an indicator of environmental pollution are discussed. Physical properties, chemical composition of the bark, debarking methods are considered. The complex chemical composition, wide variety of secondary metabolites, the physical and mechanical properties of the bark make it possible to use bark in medicine, the energy sector, agriculture and various fields of industry. The chemical exploration of the bark and producing different compounds from it, the production of particle and fiber boards based on bark, heat-insulating boards, composite materials, and water and gas clarification are increasingly comes to the front and becoming the most perspective areas of application of tree bark as a unique natural material and a renewable resource representing huge potential for use in various fields of human life.

Keywords: tree bark, structure and properties of tree bark, methods of tree bark utilization

Suggested citation: Pásztor Z., Gorbacheva G.A., Sanaev V.G., Mohácsiné I.R., Börcsök Z. *Sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya drevesnoy kory* [State and prospects of tree bark use]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 74–88. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-74-88

Authors' information

Pásztor Zoltán — Ph.D, Director of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary, pasztor.zoltan@uni-sopron.hu

Gorbacheva Galina Aleksandrovna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of Department of Wood Science and Technology of the BMSTU (Mytishchi branch), gorbacheva@bmstu.ru

Sanaev Victor Georgievich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of Department of Wood Science and Technology, Director of Mytishchi Branch of the BMSTU, rector@mgul.ac.ru

Mohácsiné Ildikó Ronyecz — Ph.D, Researcher of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary, ildiko.ronyecz@gmail.com.

Zoltán Börcsök — Ph.D, Researcher of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary, borcsok.zoltan@uni-sopron.hu

Received 15.06.2020.

Accepted for publication 02.07.2020.