

Р.Г. Сафин, К.В. Валеев, Т.О. Степанова

## ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ ПЕКТИНА И ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ НЕДРЕВЕСНЫХ ЧАСТЕЙ ХВОЙНЫХ ПОРОД

*Введение.* Большая часть территории Республики Татарстан входит в лесную зону, так как север Предкамья заходит в зону тайги. Площадь лесов республики составляет около 17% ее территории. В составе лесов преобладают лиственные породы (дуб, липа, береза и осина), хвойные породы представлены в основном сосной и елью [Географическое..., 2024]. По данным Министерства лесного хозяйства Республики Татарстан в 2024 г. общая площадь лесов региона составила 1266,2 тыс. га, из них хвойные леса – 277,44 тыс. га (сосновые – 197,68 тыс. га, еловые – 74,64 тыс. га, лиственничные – 5,12 тыс. га)<sup>1</sup>. Ель (*Picea*) и сосна (*Pinus*) широко используются в регионе, так как хвойные породы являются универсальными. Они часто применяются в строительстве, изготовлении мебели, окон, дверей. Преимуществами ели и сосны как материала являются их доступность и низкая стоимость [Каменев, 2015]. На деревообрабатывающих предприятиях и лесосеках образуется большое количество отходов (недревесной части), которые не перерабатываются, а сбрасываются в отвалы [Безруких и др., 2014]. Недревесная часть, состоящая из коры, веток, хвои, содержит комплекс веществ с высокой биологической активностью [Зиятдинова и др., 2024]. Одним из перспективных направлений утилизации и комплексной переработки недревесных частей ели, сосны и лиственницы является извлечение ценных компонентов для широкого применения их в фармацевтической и пищевой отраслях промышленности в качестве биологических добавок [Кулькова и др., 2018].

Одним из наиболее важных компонентов, содержащихся в хвойных породах деревьев, является пектин. Он не является одним веществом: это целая группа сложных гетерополисахаридов (гомогалактуронан, рамногалактуронан-I, рамногалактуронан-II), основной компонент которых – га-

---

<sup>1</sup> Об утверждении Стратегии развития лесного хозяйства Республики Татарстан на 2024-2026 и на период до 2030 года. Приказ Министерства лесного хозяйства Республики Татарстан от 25 марта 2024 года №88-осн.

лактуроновая кислота. Они являются структурным элементом клеточных стенок растений и среднего слоя (ламели) между клетками. Пектин обладает рядом полезных свойств: антиоксидантным (защищает клетки от окислительного стресса, способствует омоложению и укреплению иммунитета); детоксикантным (связывает и выводит токсины, тяжелые металлы и радионуклиды из организма); пробиотическим (поддерживает рост полезной микрофлоры кишечника); противовоспалительным (снижает воспалительные процессы в организме) [Аймухомедова, Шелухина, 1964].

Содержание пектина в хвое, коре и древесине хвойных деревьев может варьироваться в зависимости от возраста растения, времени сбора и условий окружающей среды. Хвоя ели содержит от 3 до 5% пектина, кора – от 3 до 12% от сухой массы сырья; хвоя сосны – от 2 до 4%, кора – от 2 до 6% от сухой массы сырья; хвоя лиственницы – до 6%, кора – от 4 до 8% от сухой массы сырья [Нуштаева, 2013].

Помимо пектина, в недревесной части хвойных деревьев содержатся побочные продукты в виде хвойного воска (до 7,1%) и антоцианидинового красителя (до 14%) [Оболенская и др., 1991]. Хвойный воск является перспективным компонентом для косметической промышленности, обладающим антисептическими, противовоспалительными и увлажняющими свойствами. Его применение в составе декоративной и уходовой косметики делает продукты более натуральными, эффективными и безопасными для кожи [Дейнеко и др., 2005]. Антоцианидиновый краситель – это важный элемент натурального и полезного питания. Его широко применяют в пищевой промышленности, особенно в производстве напитков, кондитерских и молочных продуктов, благодаря его натуральности, яркому цвету и антиоксидантной активности. Он также нашел применение в текстильной промышленности для окрашивания детского белья и при изготовлении игрушек [Сарафанова, 2005].

По существующим данным, на сегодняшний день потребность в биологически активных веществах на пищевом и косметическом рынках увеличилась. Спрос на использование данных БАВ из недревесных частей деревьев хвойных пород в России возрастает в среднем на 20–25% [Эксперт..., 2023]. Этим обуславливается высокая цена на некоторые вещества. Так, например, цена 1 кг пектина составляет 30 \$, 1 кг хвойного воска – 10 \$, 1 кг антоцианидинового красителя – 50 \$ [Антоцианидиновый..., 2024].

В связи с большим количеством ценных веществ в недревесной части деревьев хвойных пород и широким спектром их применения извлечение этих биологически активных веществ является перспективным направле-

нием лесоперерабатывающей промышленности. Извлечение биологически активных веществ сопровождается рядом трудностей, связанных с сепарацией на отдельные компоненты, регенерацией растворителей [Шелухина и др., 1987], которые довольно токсичны. Целью работы является обзор научных исследований в области извлечения пектина и побочных продуктов из недревесных частей деревьев хвойных пород.

*Результаты исследования.* Левданский В.А. с соавторами [2008] предложили способ переработки коры ели, позволяющий эффективно извлекать из неё биологически активные вещества (рис. 1). Способ включает в себя измельчение коры ели до размеров 1–3 мм, экстракцию хвойного воска гексаном в аппарате Сокслета в течение 6 ч, сепарацию на рафинат и экстракт, выделение из рафинированной коры антоцианидинового красителя этиловым спиртом с 4%-й соляной кислотой при температуре 78 °С в течение 3,5 ч, извлечение пектинов 0,5%-м водным раствором щавелевокислого аммония из твердого остатка коры ели при температуре 100 °С и гидромодуле 1:30. Выход биологически активных веществ составил: для хвойного воска – 6–7%, антоцианидинового красителя – 13–14%, пектина – 10–12% от общей массы сырья.

В работе Ушановой В.М. с соавторами [2008] описано исследование влияния функциональных пектиновых групп из коры хвойных пород деревьев на их студнеобразующие свойства. Объектами исследования служили пектины, извлеченные из деревьев: ели, сосны, пихты, лиственницы. В работы были определены физико-химические свойства извлеченных пектинов и проведено сравнение с промышленными образцами цитрусового пектина. Исследования показали, что хвойные пектины относятся к низкоэтерифицированным (степень этерификации – от 46 до 48%), а у цитрусовых степень этерификации составляет 66–70%. Так как хвойные пектины имеют низкую степень этерификации, они нашли широкое применение в медицине, фармакологии и кондитерской промышленности.

Способ переработки древесной зелени сосны обыкновенной с получением пектиновых веществ, предложенный Речкиной Е.А. [2012], включает в себя измельчение хвои, экстрагирование гексаном, сепарирование на твердый остаток и экстракт, содержащий эфирные масла, хлорофиллокаротиновую пасту и хвойной воск. Далее твердый остаток экстрагируется этиловым спиртом для выделения хвойного экстракта. Для выделения пектина из последнего твердого остатка проводят экстракцию смесью оксалата аммония и щавелевой кислоты при температуре 81 °С в течение 60 минут. Выход пектиновых веществ из хвои сосны составил 4,6%.

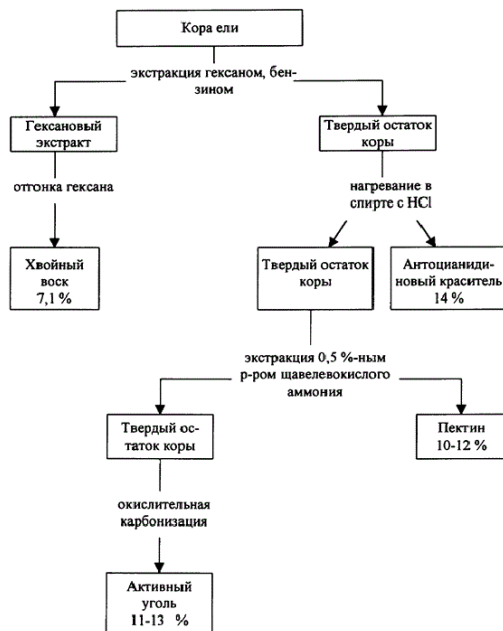


Рис. 1. Схема способа переработки коры ели по методу [Левданский и др., 2008]

Fig. 1. Scheme of the method of processing spruce bark according to the Levdanskiy et al. [2008] method

В другой работе того же автора было проведено выделение пектиновых веществ из древесной зелени сосны обыкновенной. Исследование заключалось в определении оптимальных режимных параметров процесса экстракции. В ходе работы было выявлено, что для достижения максимального выхода пектиновых веществ рекомендуются следующие условия: температура процесса – 80 °С, время – 1 ч, гидромодуль сырье : экстрагент – 1:7 [Речкина и др., 2010].

Ивановой Н.В. с соавторами [2003] проведено исследование влияния различных факторов на выход и некоторые характеристики пектиновых веществ коры лиственницы. Было выявлено, что предварительная обработка гексаном, этилацетатом и водой, а также использование эквимольной смеси 0,5%-х растворов щавелевой кислоты и оксалата аммония при 80 °С в течение 1 ч (гидромодуль – 1:7) существенно увеличивает выход пектинов, улучшая их функциональные характеристики. Также было проведено исследование выбора осадителя (ацетон, этанол) для осаждения пектиновых

веществ. Исследования показали, что с использованием ацетона осаждение пектиновых веществ происходит лучше на 1,7%.

Также Речкина Е.А. с соавторами [2009] предложила способ переработки древесной зелени сосны обыкновенной (рис. 2). Данный способ представляет собой многостадийный процесс выделения ценных компонентов из древесной зелени сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), включающий использование различных растворителей, химическую обработку и механическое разделение фаз для получения ряда биологически активных веществ. Для выделения эфирного масла и хлорофилло-каротиновой пасты в качестве растворителя использовался бензин. Для осаждения хлорофилло-каротиновой пасты авторы использовали 40%-ю натриевую щелочь. Твердый остаток ( $R_1$ ) после первой стадии экстракции подвергается обработке 90%-м раствором этилового спирта при температуре кипения (около 78,5 °С) в течение 4 ч. После экстракции проведена сепарация на экстракт (E) и шрот ( $R_2$ ). Проэкстрагированный шрот подвергается гидролиз-экстракции эквимолярной смесью 0,5%-го раствора оксалата аммония и 0,5%-й щавелевой кислоты (жидкостный модуль – 1:7), при температуре 80 °С в течение 30 мин при постоянном перемешивании. После экстракции проводилась сепарация на экстракт и рафинированное сырье ( $R_3$ ). Для осаждения пектиновых веществ использовался этиловый спирт в трехкратном объеме. Выход пектина составил 1,7–2,6%.

Пермяковой Г.В. и Анискиной А.А. [2024] было проведено исследование динамики содержания пектиновых веществ в коре *Larix sibirica* Ledeb. и *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. Авторами было обнаружено, что на высоте 1,3 м от основания содержание пектина в коре лиственниц обоих видов составило 4–5% от общей массы сырья. В коре всего ствола дерева содержание пектиновых веществ составило 8–9% от общей массы сырья. Обнаружено, что максимальное содержание пектиновых веществ находится в коре молодых частей дерева (вершине и сучьях) и в лубе – 9–12% от общей массы сырья. Также установлено, что с возрастом количество пектиновых веществ в коре и лубе лиственницы сокращается примерно в 2,5 раза.

Птичкиной Н.М. с соавторами [1996] был предложен способ получения пектина из тыквенного жома (рис. 3). Жом тыквы промывали дистиллированной водой при температуре 65 °С в течение 30 мин. После промывки жом отжимали и подвергали гидролиз-экстракции соляной кислотой при температуре 65 °С в течение 90 мин. Далее проводили сепарацию на жом и гидролизат. Жом (R) подвергали ещё одной гидролиз-экстракции соляной кислотой при температуре 65 °С в течение 30 мин. После экстракции проводили ещё одну сепарацию. Далее жидкости соединяли, охлаждали и осаждали пектин. Выход пектина составил 7,3% от общей массы жома.

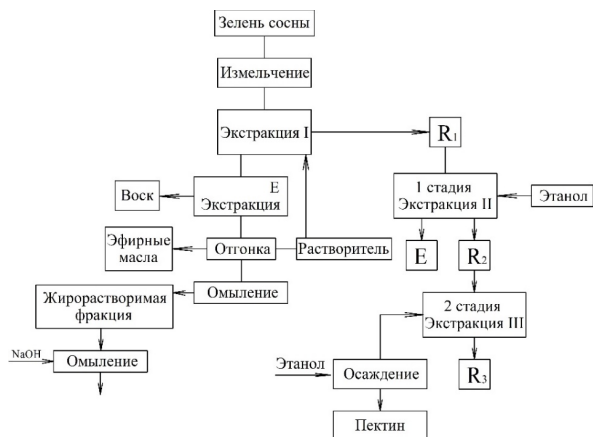


Рис. 2. Схема способа переработки древесной зелени сосны обыкновенной по методу [Речкина и др., 2009]

Fig. 2. Scheme of the method of processing wood greens of common pine according to the method of Rechkina et al. [2009]

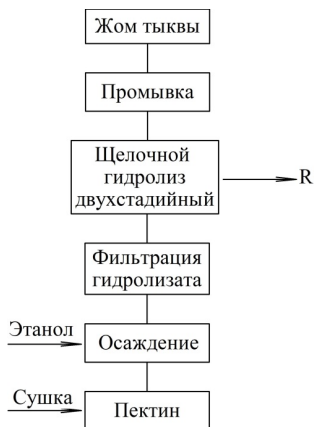


Рис. 3. Схема способа получения пектина из тыквенного жома по методу [Птичкина и др., 1996]

Fig. 3. Scheme of the method of obtaining pectin from pumpkin pulp according to the method of Ptichkina et al. [1996]

Бабкиным В.А. с соавторами [2010] предложен способ получения пектина из коры лиственницы. Измельчённую кору экстрагировали этилацетатом (гидромодуль – 1:5–1:10) в колбе с обратным холодильником в течение

ние 3 ч при температуре 60–70 °С. После экстракции проводили сепарацию на твердый остаток и экстракт. Далее твердый остаток выдерживали в воде при температуре 45–52 °С в течение 3 ч для удаления фенольных соединений, низкомолекулярных углеводов и танинов. После обработки кору высушивали и выдерживали в водном растворе щавелевой кислоты (рН 3,8–4,2) в течение 3–4 ч. Экстракцию пектиновых полисахаридов осуществляли водным раствором оксалата аммония, экстракт концентрировали, пектины осаждали 96%-м этиловым спиртом, сушку целевого продукта вели лиофильно. Выход пектиновых веществ составил 10–12%.

В работе Ефремовой А.А. и Кондратюка Т.А. [2008] описано выделение пектина из лиственницы сибирской. Кора лиственницы подвергалась воздействию 1,1%-й соляной кислоты при температуре 60–70 °С в течение 1–2 ч. После экстракции жидкость отделяли от твердого остатка (коры), получая солянокислый экстракт. Его упаривали до 1/3 исходного объема, что позволяло повысить концентрацию пектиновых веществ. Для их осаждения добавляли этиловый спирт, который снижает растворимость пектина и способствует его выпадению в осадок. Осажденные пектиновые вещества отделяли от раствора, затем высушивали в вакуумной сушилке. Полученный выход пектиновых веществ составил 4–5% от массы абсолютно сухой коры.

Бутылкина А.И. с соавторами [2011] провела исследование состава экстрактивных веществ, выделенных из коры сосны различными методами. Измельченную до размеров 1,2–2,0 мм кору высушивали в течение 6 ч при температуре 104–105 °С. Для выделения смолистых веществ в качестве экстрагента использовали гексан. Экстракцию проводили в течение 10 ч в аппарате Сокслета. Выход смолистых веществ составил 4,8% от а. с. к. Экстракцию дубильных веществ из обессмоленной коры сосны также проводили в аппарате Сокслета в течение 8 ч. Выход составил 10% от а. с. к. Обессмоленную кору подвергали экстракции 15%-м раствором этанола при гидромодуле – 1:10–15 в течение 1 ч. Выход проантоцианидинов составил 0,5% от а. с. к. Для выделения пектиновых веществ кору сосны обрабатывали водными растворами кислот (азотной, соляной, ортофосфорной, серной, лимонной) с рН от 1,1 до 2,2 при температуре 80 °С и гидромодуле 1:20 при постоянном перемешивании в течение 1 ч. Выход пектиновых веществ составил 5,2% от а. с. к.

В работе [Дейнеко и др., 2007] описано исследование химического состава коры сосны. В качестве образцов для исследования использовали кору и луб сосны двух 60-летних деревьев. Экстрагирование образцов проводили в аппарате Сокслета диэтиловым эфиром. После экстракции проводили сепарацию на твердый остаток и экстракт, содержащий в себе

кислоты и нейтральные вещества. Для выделения кислот экстракт обрабатывали насыщенным раствором гидрокарбоната натрия. Для осаждения смоляных и жирных кислот в экстракте использовали 10%-й хлорид бария. Для выделения фенолов раствор обрабатывали 15%-й соляной кислотой и экстрагировали диэтиловым эфиром. Полученные вещества и растворы отправляли на газожидкостную хроматографию (ГЖХ). Авторами было установлено, что кора и луб нижней части ствола содержат наибольшее количество эфирорастворимых веществ (лепидов). Также их содержание в нижней части ствола значительно больше, чем в верхней. Содержание пектиновых веществ – 4,8% от общей массы коры.

Хуршкайнен Т.В. с соавторами [2013] предложили способ переработки древесной зелени пихты (рис. 4). Измельченную хвою пихты массой 1 кг загружали в реактор и добавляли 0,5%-й водный раствор соляной кислоты массой 10 кг, предварительно нагретый до 50 °С. Сырье обрабатывалось в течение 2 ч. Затем хвою отфильтровывали и промывали дистиллированной водой в соотношении сырье:вода 1:5 при температуре 50–55 °С. Подкисленный раствор отфильтровывали от сырья и объединяли с первым экстрактом. Смесь упаривали до 2,4 л и осаждали 96%-м этиловым спиртом. Выход пектина составил 2,6–5,6% от веса исходного материала.

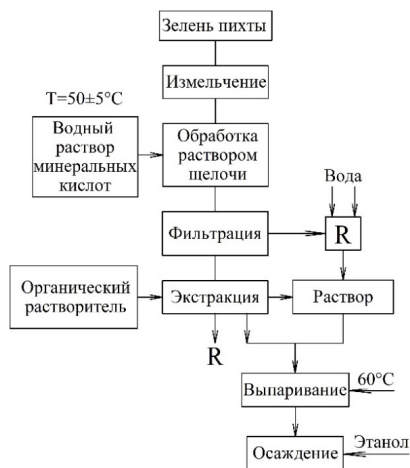


Рис. 4. Схема способа переработки древесной зелени пихты по методу [Хуршкайнен и др., 2013]

Fig. 4. Scheme of the method of processing fir tree greens according to the Hurshkainen et al. [2013] method

Ярцевой Н.А. и Пермяковой Г.А. [1977] предложен способ получения пектина из растительного сырья. Измельчённую в дисковой дробилке до размеров 1–2 мм кору сосны трижды промывали водой при температуре 60 °С по 30 мин, удаляя водорастворимые вещества. После промывки сырьё экстрагировали 1%-м водным раствором щавелекислого аммония в течение 1 ч при температуре кипения и гидромодуле 1:30 в колбе с обратным холодильником. После экстракции проводили сепарацию на твердый остаток (кору) (R) и коричневый экстракт. Экстракт упаривали до 1/10 части всего объема, осветляли активированным углем марки Б. Для осаждения пектина из прозрачного экстракта использовали 96%-й подкисленный этиловый спирт в соотношении 1:2,5. Осадок высушивали и промывали трижды подкисленным раствором этилового спирта.

Рошин В.И. с соавторами [1994] предложил способ переработки сосновой древесной зелени. Исследование проводили в аппарате дефлегмационно-оросительного принципа в течение 3,5 ч с использованием в качестве экстрагента бензина. Выход смолистых веществ составил 13,8% от общей массы абсолютно сухой хвои сосны. При охлаждении экстракта хвойный воск выпадал в осадок (до 2% от о. м. э.). Далее бензиновый экстракт упаривали и добавляли воду температурой 60 °С и 30%-й водный раствор едкого натра. Смесь перемешивали в течение 1 ч при температуре 80–90 °С. Для выделения смоляных и высших жирных кислот в раствор добавляли 30%-й водный раствор серной кислоты и бензин. После выделения кислот раствор повторно обрабатывали бензином и 30%-м водным раствором серной кислоты для выделения репеллента (49,8% от о. м. э.) и хлорофиллиновых кислот (3,9% о. м. э.). Остатки экстракта разгоняли под вакуумом и получали три фракции: маслянистую жидкость с запахом скипидара (3,9% от о. м. э.), кристаллы мазеобразной консистенции (16,9% от о. м. э.), кристаллы, содержащие изоабиенол (0,89% от о. м. э.). Рафинированную сосновую зелень обрабатывали 1%-м водным раствором щавелекислого аммония в течение 1 ч, сепарировали на шрот и экстракт, упаривали экстракт до образования сиропообразной массы, добавляли этиловый спирт для осаждения пектиновых веществ, отделяли хлопья пектиновых веществ от экстракта и высушивали. Выход пектиновых веществ составил 2,1%.

В работе [Косянский, Косянская, 1976] описан способ получения пектина. Растительное сырьё загружали в резервуар с алюминиевыми электродами, где под действием постоянного тока при температуре 38 °С и рН 4,3 трехвалентные ионы алюминия переходили в водный раствор. Пектино-алюминиевый коагулянт быстро оседал на дно резервуара и непрерыв-

но отводился с помощью центрифуги. Выход пектиновых веществ составил 7,5% от общей массы сырья.

Нахмедов Ф.Г. с соавторами [1975] предложил способ производства пектина. Растительное сырье замораживали при температуре  $-30-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 25 – 30 мин, затем обрабатывали горячей водой ( $90-95\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 30–40 мин в соотношении 1:1. После того, как температура достигала  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в раствор добавляли ферментные препараты целлюлолитического комплекса в количестве 0,1–0,3% к весу сырья и проводили гидролиз-экстракцию в течение 2–3 ч при температуре  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Полученный экстракт включает в себя пектиновые вещества, дубильные вещества, сахара, органические кислоты, минеральные вещества и др. Содержание сухих веществ составляет 25–30% от общей массы сырья, из них 5–7% – пектиновые вещества.

Бабкиным В.А. с соавторами [2003] была проведена экстракционная переработка коры лиственницы в практически полезные продукты. Кору лиственницы обрабатывали гексаном для выделения хвойного воска, после обработки проводили сепарацию на твердый остаток и гексановый раствор. Сухой остаток после сепарации обрабатывали горячей водой для выделения водорастворимых веществ, далее сепарировали на обессмоленный остаток и водный раствор. Для выделения пектиновых веществ обессмоленную кору лиственницы экстрагировали оксалатом аммония и щавелевой кислотой. Выход пектиновых веществ составил 2–6%.

В работе [Архипов и др., 1996] описан способ получения пектина из растительного сырья. Измельченное растительное сырье промывали водным раствором соляной кислоты, далее после промывки проводили гидролиз-экстрагирование 0,1–0,15%-м раствором соляной и азотной кислот, сепарировали на шрот и экстракт. После сепарации экстракт упаривали и смешивали с 0,2–0,3%-м раствором фосфорной кислоты и выдерживали в течение 15 мин. Далее смесь концентрировали и очищали ультрафильтрацией. Выход пектиновых веществ составил 6% от общей массы сырья с 90%-й чистотой.

[Willfer et al., 2005] было проведено исследование по определению полисахаридов в хвойных породах деревьев. Были проанализированы содержание и состав углеводов, полисахаридов в заболони и сердцевине 12 видов. Пектины, то есть полигалактуроновые кислоты, являются основными кислыми полисахаридами во всех видах. Также были проанализированы количество и состав водорастворимых углеводов в измельченных образцах древесины, так как они важны в измельчении и могут служить источником биоактивных полимеров. Основными полисахаридами, выделяемыми из древесины ели, были маннаны, из заболони – крахмал.

В работе Типсиной Н.Н. с соавторами [2014] описан способ извлечения пектинов из хвойных пород деревьев, а также перспективы их использования в пищевой промышленности. В качестве сырья использовали кору и луб сосны, лиственницы, ели. Способ включает в себя механическую очистку коры и луба, измельчение, экстрагирование водорастворимых веществ при температуре 60 °С, сепарацию на твердый остаток и экстракт, экстракцию этиловым спиртом в течение 10 ч, экстракцию пектиновых веществ 0,5%-м водным раствором щавелевокислого аммония при температуре 100 °С и соотношении сырье:экстракт 1:30, осветление экстракта, осаждение пектина, сушку и размол. Выход пектина составил из коры сосны 3%, ели – 5,6%, лиственницы – 3,2%; из луба сосны – 13,5%, ели – 13,7%, лиственницы – 10,6%.

Патова О.А. с соавторами [2010] предложила способ получения полисахаридов из древесной зелени хвойных растений. Измельченную свежесрубленную зелень пихты экстрагировали в аппарате Сокслета органическими растворителями (этилацетатом, хлороформом). После удаления низкомолекулярных примесей сырье высушивали и отправляли на экстракцию водным раствором соляной кислоты при температуре 50 °С в течение 2 ч. Разделение сырья и экстракта проходило в центрифуге. После сепарации экстракт упаривали и разбавляли трехкратным объемом 96%-го этилового спирта. Выпавшие в осадок пектиновые вещества высушивали и измельчали. Продукт представляет собой порошок без запаха, светло-коричневого и кремового цвета. Выход пектиновых веществ составил 2–4% от общей массы сырья.

[Hwang et al., 1977] провели анализ основных компонентов хвои сосны, содержания пектинов и дубильных веществ, и других доступных компонентов. Для анализа терпеноидных компонентов из четырёх видов хвои сосны проводили паровую дистилляцию. Полученные эфирные масла были проанализированы с помощью газовой хроматографии и газовой хроматографии с масс-спектрометрией. Было установлено, что сосна корейская (*P. koraiensis* Siebold & Zucc.) обладает наиболее высоким содержанием как пектина (0,4%), так и дубильных веществ (1,05%).

В работе [Семеньева и др., 2020] был проведен кислотный гидролиз с применением щавелевой, лимонной, борной, уксусной и соляной кислот для определения молекулярно-массовых характеристик и сорбционных свойств пектина. В качестве исходного сырья использовали кожуру, ядрышки, жмых яблок, жмых свеклы, лимонной корки и хвою сосны. Сырье с экстрагентом нагревали в кипящей водяной бане с обратным холодильником в течение 1

ч. После экстрагирования экстракт нейтрализовали раствором аммиака и осаждали пектин 96%-м этанолом. Для определения степени этерификации образцов пектина проводили потенциометрические титрования. Была выявлена зависимость степени этерификации как от исходного сырья, так и от метода извлечения. Для изучения сорбционной способности пектина был применен метод обратного комплексонометрического титрования.

[Slathia et al., 2020] была проведена предварительная обработка хвои сосны разбавленной кислотой с использованием методологии поверхности отклика для производства биоэтанола путем раздельного гидролиза и ферментации. В качестве сырья использовали хвою сосны Роксбурга (*Pinus roxburghii* Sarg.). Хвою подвергали термохимической предварительной обработке с использованием разбавленных растворов (0,5%, 1%, 1,5% и 2%) соляной кислоты. Максимальный выход редуцирующих сахаров составил 96 мг/г сырья при использовании 1% соляной кислоты. Фурье-спектроскопический анализ показал снижение содержания лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы в хвое сосны в процессе предварительной обработки. Для выделения пектинов был проведён ферментативный гидролиз при температуре 30 °С и скорости перемешивания 200 об/мин в течение 72 ч. Отбор проб проводили каждые 24 ч. Каждую пробу центрифугировали. Затем определяли степень гидролиза с помощью метода DNS (3,5-дINITРОСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ).

[Mahmoud et al., 2023] была изучена хвоя Алеппской сосны. Были проведены физико-химические и спектроскопические анализы. Была определена пористость хвои, гигроскопичность, кислотность, влажность и проницаемость. Плотность в безводном состоянии составила 0,6, содержание углерода – 79,91%, кислорода – 18,91% в форме ароматических соединений и отпечатков кетонов. Содержание биологически активных веществ в хвое сосны составило: пектина – 1÷2,5%, целлюлозы – 48–56%, лигнина – 26–30%, гемицеллюлоз – 23–26% от общей массы сырья.

В работе [Shakhmatov et al., 2015] были исследованы способ экстракции и структурные характеристики пектиновых полисахаридов из пихты сибирской (*Abies sibirica* L.). Из хвои пихты были выделены структурно различающиеся пектины путём последовательной экстракции водой, раствором соляной кислоты и раствором аммиака. Растворы концентрировали на роторном выпарном аппарате при пониженном давлении и температуре 40–45 °С, центрифугировали при 5000–6000 об/мин в течение 10–20 мин и высушивали при пониженной температуре. Молекулярную массу и полидисперсность фракций полисахаридов определяли с помощью высо-

коэффициентной жидкостной хроматографией. Содержание пектина в растворе составило 69%.

[Bhattacharjee, Timell, 1965] было проведено исследование содержания пектина в коре пихты миловидной, а также разделение его на кислоты. Выход пектиновых веществ составил 2% от общей массы коры пихты. В процессе гидролиза пектиновые вещества дали D-галактуроновую кислоту, D-галактозу и L-арабинозу в соотношении 85%:4%:11%, а также следы рамнозы. Для дальнейшего разделения использовали подкисление водного раствора пектина с последующим ультрацентрифугированием. Пектиновый материал был разделен на галактуронан и пектиновую кислоту, содержащую четыре остатка сахара, обычно встречающихся в пектинах.

*Заключение.* Аналитический анализ результатов научных исследований показал, что недревесные части хвойных пород представляют собой источник ценных биологически активных компонентов, таких как пектин, хвойный воск, антоцианидиновый краситель. Содержание пектина может достигать 12%, хвойного воска – 7,1%, антоцианидинового красителя – 14% от общей массы недревесного сырья в зависимости от места произрастания, части дерева и способа извлечения.

Сравнительный анализ предложенных технологий комплексной переработки позволяет сделать следующие ключевые выводы об их эффективности и направленности:

1. Наиболее эффективной и сбалансированной технологией является методика, предложенная [Левданский и др., 2008]. Переработка коры ели оптимальна для извлечения сразу трех ценных компонентов. Выход хвойного воска (6–7%), антоцианидинового красителя (13–14%) и пектина (10–12%) является максимальным среди рассмотренных схем. Это указывает на высокую эффективность последовательной экстракции и оптимальный подбор экстрагентов для данного вида сырья;

2. Технологии с максимальным охватом продуктов, предложенные [Речкина, 2009, 2010], ориентированы на переработку древесной зелени сосны. Они демонстрируют высокую комплексность, позволяя извлекать широкий спектр биологически активных веществ. Помимо пектина и воска, данные методы нацелены на получение эфирных масел, хлорофиллокаротиновой пасты, репеллентов и других специфических соединений. Однако этот широкий охват достигается за счет снижения выхода пектина (1,7–2,6% и 2,1% соответственно), что делает данные технологии менее эффективными именно для целей пектинового производства;

3. Узконаправленные и универсальные методы [Бабкин и др., 2003, 2010] по переработке коры лиственницы занимают промежуточное положение. Они охватывают основные целевые продукты (хвойный воск и пектин), но демонстрируют нестабильный и варьирующийся выход пектина (2–6%), что, вероятно, сильно зависит от конкретных параметров сырья и условий процесса.

Для максимизации выхода пектина и красителя наилучшие результаты показывает переработка коры ели по методу [Левданский и др., 2008].

Анализ показывает, что не существует универсальной технологии, одинаково эффективной для извлечения всех ценных компонентов. Выбор оптимального метода напрямую зависит от сырьевой базы (кора или древесная зелень) и целевого продукта.

*Вклад авторов.* Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи.

*Сведения о финансировании* исследования. Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ. (Соглашение №10/2025-ПД-КНИТУ от 22.12.2025).

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Аймухамедова Г.Б., Шелухина Н.П. Пектиновые вещества и методы их определения. Фрунзе, 1964. 119 с.

Антоцианидиновый краситель: поиск по сайту // Агросервер. URL: <https://agroserver.ru/search/антоцианидиновый+краситель/1/0/0/0/0/1/> (дата обращения: 15.12.2024).

Архипов Х.Н., Турахожаев Т.М., Крайнов В.И., Григор В.Ф., Пулатов А.А. Патент №2051594 С1 Российская Федерация, МПК А23L 1/0524. Способ получения пектина из растительного сырья. Заявка №5051950/13, заявл. 13.07.1992, опубл. 10.01.1996.

Бабкин В.А., Иванова Н.В., Остроухова Л.А., Малкова Ю.А., Иванова С.З., Попова О.В. Экстракционная переработка коры лиственницы в практически полезные продукты // Хвойные бореальные зоны, 2003. №1. С. 113 – 116.

Бабкин В.А., Иванова Н.В., Трофимова Н.Н., Еськова Л.А., Салеев Р.К., Нурминский В.Н., Корзун А.М., Феоктистова Л.П., Сапожников А.Н., Лихошвай Е.В., Арсеньев К.С. Патент № 2403263 С1 Российская Федерация, МПК С08В 37/06, В82В 1/00. Способ получения пектина из коры лиственницы, обладающего мембраностабилизирующей активностью и способностью восстанавливать ионы се-

ребра, нанобиокомпозиты серебра, стабилизированные пектином. Заявка №2009124931/13, заявл. 29.06.2009, опубл. 10.11.2010.

*Безруких Ю.А., Медведев С.О., Алашкевич Ю.Д., Мохирев А.П.* Рациональное природопользование в условиях устойчивого развития экономики промышленных предприятий лесного комплекса // Экономика и предпринимательство. 2014. Т. 2, №12. С. 994–996.

*Бутылкина А.И., Левданский В.А., Кузнецов Б.Н.* Изучение состава экстрактивных веществ, выделенных из коры сосны различными методами // Химия растительного сырья, 2011. №2. С. 77–82.

Географическое положение и климат // Официальный Татарстан. URL: <https://tatarstan.ru/about/geography.htm> (дата обращения: 15.12.2024).

*Дейнеко И.П., Пранович А.В., Рубанова В.Ф., Белов Л.П.* Изучение химического состава хвойного воска // Химия растительного сырья. 2005. №1. С. 13–18.

*Дейнеко И.П., Дейнеко И.В., Белов Л.П.* Исследование химического состава коры сосны // Химия растительного сырья. 2007. №1. С. 19 – 24.

*Ефремова А.А., Кондратюк Т.А.* Выделение пектина из нетрадиционного растительного сырья и применение его в кондитерском производстве // Химия растительного сырья. 2008. №4. С. 171–176.

*Зиятдинова Д.Ф., Соловьева Е.Н., Назипова Л.Р., Сафина А.В., Валеев К.В., Сафин Р.Г.* Моделирование процессов влагопоглощения древесины при изменении давления среды // Вестник Технологического университета. 2024. Т. 27, №1. С. 25–29. DOI: 10.55421/1998-7072\_2024\_27\_1\_25.

*Иванова Н.В., Попова О.В., Бабкин В.А.* Изучение влияния различных факторов на выход и некоторые характеристики пектиновых веществ коры лиственницы // Химия растительного сырья. 2003. №4. С. 43–46.

*Каменев Я.А.* Концептуальные аспекты совершенствования территориального планирования лесопромышленного комплекса региона // Российское предпринимательство. 2015. №8, вып. 2. С. 75–79.

*Косянский Б.С., Косянская Е.Б.* Способ получения пектина. Авторское свидетельство №465172. СССР, 1976. Бюл. №12.

*Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П.* Многопараметрическая оценка таксономической близости видов ели (*Picea a. Dietr.*) по пигментному составу хвои // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование., 2018. Т. 37, №1. С. 5–18. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.1.5.

*Левданский В.А., Бутылкина А.И., Кузнецов Б.Н.* Патент № 2332438 С1 Российская Федерация, МПК C09F 1/00, C11B 11/00, C11B 1/10. Способ переработки коры ели. Заявка №2007114668/04, заявл. 18.04.2007, опубл. 27.08.2008.

*Нахмедов Ф.Г., Фрумкин М.Л., Калунянц К.А., Гребешова Р.Н., Румянцева Г.Н., Зайцева Н.Н.* Способ производства пектина. Авторское свидетельство №467732. СССР, 1975. Бюл. №15.

Нуштаева А.В. Химия древесины: учеб. пособие. Пенза: ПГУАС, 2013. 100 с.  
Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М: Экология, 1991. 319 с.

Патова О.А., Макарова Е.Н., Шахматов Е.Г. Патент № 2448119 С1 Российская Федерация, МПК С08В 37/06, А23Л 1/0524. Способ получения полисахаридов из древесной зелени хвойных растений. Заявка №2010121802/13, заявл. 28.05.2010, опубл. 20.04.2012.

Пермякова Г.В., Анискина А.А. Динамика содержания пектиновых веществ в коре *Larix sibirica* и *Larix gmelinii* // Химия растительного сырья. 2024. №4. С. 80–88. DOI: 10.14258/jcprm.20240412916.

Птичкина Н.М., Ишин А.Г., Данилова И.А. Патент № 2055484 С1 Российская Федерация, МПК А23Л 1/0524. Способ получения пектина. Заявка №5035191/13, заявл. 31.03.1992, опубл. 10.03.1996.

Речкина Е.А. Переработка древесной зелени сосны обыкновенной с получением пектиновых веществ: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2012. 138 с.

Речкина Е.А., Губаненко Г.А., Рубчевская Л.П. Патент № 2364409 С1 Российская Федерация, МПК А61К 36/15. Способ переработки древесной зелени сосны обыкновенной. Заявка №2008126692/15, заявл. 30.06.2008, опубл. 20.08.2009.

Речкина Е.А., Губаненко Г.А., Рубчевская Л.П. Выделение пектиновых веществ из древесной зелени сосны обыкновенной // Химия растительного сырья. 2010. № 4. С. 189–190.

Роцин В.И., Васильев С.Н., Павлуцкая И.С., Колодынская Л.А. Патент №2017782 С1 Российская Федерация. МПК С09F 1/00, С11В 1/10. Способ переработки древесной зелени хвойных пород. Заявл. 22.07.1991, опубл. 15.08.1994.

Сарафанова Л.А. Применение пищевых добавок. Технические рекомендации. СПб.: ГИОРД, 2005. 200 с.

Семеньева Л.Л., Кулешова Н.В., Митин А.В., Белая Т.А., Мочкина Д.В. Молекулярно-массовые характеристики и сорбционные свойства пектина, выделенного из разных субстратов // ИВУЗ. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10, №4. С. 728–737. DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-4-728-737.

Тупсина Н.Н., Тупсин Э.А., Батурина Н.Г. Пектины из хвойных пород деревьев. Перспективы их использования в пищевой промышленности // Вестник КрасГАУ. 2014. №12. С. 231–233.

Ушанова В.М., Батура Н.Г., Воробьева З.К. Изучение влияния функциональных групп пектинов из коры хвойных пород деревьев на их студнеобразующие свойства // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, №3-4. С. 362–364.

Хурикайнен Т.В., Кучин А.В., Скрипова Н.Н. Патент № 2493172 С1 Российская Федерация, МПК С08В 37/06. Способ переработки древесной зелени пихты. Заявка №2012116170/134, заявл. 20.04.2012, опубл. 20.09.2013.

Шелухина Н.П., Абаева Р.Ш., Аймухамедова Г.Б. Пектин и параметры его получения. Фрунзе, 1987. 91 с.

Эксперт заявил, что спрос на БАДы в России растет на 20–25% в год // ТАСС. 2023. URL: <https://tass.ru/obschestvo/18641517> (дата обращения: 15.12.2024).

Ярцева Н.А., Пермьякова Г.В. Способ получения пектина из растительного сырья. Авторское свидетельство № 563154. СССР, 1977. Бюл. №24.

Bhattacharjee S.S., Timell T.E. A study of the pectin present in the bark of amabilis fir (*Abies amabilis*) // Canadian Journal of Chemistry. 1965. No. 4. P. 758–765. DOI: 10.1139/v65-101.

Hwang B.H., Lee H.J., Kang H.Y., Liu S., Cho J.H., Zhao J. Studies on the analysis of special components of major pine needles for searching of the new functional substances (I)-analysis of pectin, tannin and terpenoids // Journal of Forest and Environmental Science. 1997. No. 1. P. 134–142.

Mahmoud R., Hjouji K., Mehdaoui I., Saoudi Hassani E.M., Ben Abbou M., Majbar Z., Rais Z. The needles of Aleppo pine from the province of Taza-Morocco – a biomaterial of great potential // Journal of Ecological Engineering. 2023. No. 1. P. 41–50. DOI: 10.12911/22998993/156008.

Slathia P.S., Raina N., Kiran A., Kour R., Bhagat D., Sharma P. Dilute acid pre-treatment of pine needles of *Pinus roxburghii* by response surface methodology for bioethanol production by separate hydrolysis and fermentation // Biomass Conversion and Biorefinery. 2020. No. 1. P. 95–106. DOI: 10.1007/s13399-019-00433-1.

Shakmatov E.G., Udoratina E.V., Atukmaev K.V., Makarova E.N. Extraction and structural characteristics of pectic polysaccharides from *Abies sibirica* L. // Carbohydrate polymers. 2015. No. 123. P. 228–236. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.01.041.

Willfer S., Sundberg A., Hemming J., Holmbom B. Polysaccharides in some industrially important softwood species // Wood Sci. Technol. 2005. No. 39. P. 245–258. DOI: 10.1007/s00226-004-0280-2.

## References

Aimukhomedova G.B., Shelukhina N.P. Pectin substances and methods for their determination. Frunze, 1964. 119 p. (In Russ.)

Anthocyanidin dye: website search. Agroservers. URL: <https://agroservers.ru/search/антоцианидиновый+краситель/1/0/0/0/0/1/> (accessed December 15, 2024). (In Russ.)

Arkhipov Kh.N., Turakhozhayev T.M., Krainov V.I., Grigor V.F., Pulatov A.A. Patent No. 2051594 C1 Russian Federation, IPC A23L 1/0524. Method for producing pectin from plant raw materials. Appl. no. 5051950/13, appl. 07/13/1992, publ. 01/10/1996. (In Russ.)

Babkin V.A., Ivanova N.V., Ostroukhova L.A., Malkova Yu.A., Ivanova S.Z., Popova O.V. Extraction processing of larch bark into practically useful products. *Coniferous boreal zones*, 2003, no. 1, pp. 113 – 116. (In Russ.)

Babkin V.A., Ivanova N.V., Trofimova N.N., Eskova L.A., Salyaev R.K., Nurminsky V.N., Korzun A.M., Feoktistova L.P., Sapozhnikov A.N., Likhoshvay E.V.,

Arsen'yev K.S. Patent no. 2403263 C1 Russian Federation, IPC C08B 37/06, B82B 1/00. Method for obtaining pectin from larch bark, possessing membrane-stabilizing activity and the ability to reduce silver ions, silver nanobiocomposites stabilized with pectin. Appl. no. 2009124931/13, appl. 06/29/2009, publ. 11/10/2010. (In Russ.)

Bezrukikh Yu.A., Medvedev S.O., Alashkevich Yu.D., Mokhirev A.P. Rational nature management in the context of sustainable development of the economy of industrial enterprises of the forestry complex. *Economy and entrepreneurship*, 2014, vol. 2, no. 12, pp. 994–996. (In Russ.)

Bhattacharjee S.S., Timell T.E. A study of the pectin present in the bark of amabilis fir (*Abies amabilis*). *Canadian Journal of Chemistry*, 1965, no. 4, pp. 758–765. DOI: 10.1139/v65-101.

Butylkina A.I., Levdanskiy V.A., Kuznetsov B.N. Study of the composition of extractive substances isolated from pine bark by various methods. *Chemistry of plant raw materials*, 2011, no. 2, pp. 77–82. (In Russ.)

Deineko I.P., Pranovich A.V., Rubanova V.F., Belov L.P. Study of the chemical composition of pine wax. *Chemistry of plant raw materials*, 2005, no. 1, pp. 13–18. (In Russ.)

Deineko I.P., Deineko I.V., Belov L.P. Study of the chemical composition of pine bark. *Chemistry of plant raw materials*, 2007, no. 1, pp. 19–24. (In Russ.)

Efremova A.A., Kondratyuk T.A. Isolation of pectin from non-traditional plant raw materials and its use in confectionery production. *Chemistry of plant raw materials*, 2008, no. 4, pp. 171–176. (In Russ.)

The expert stated that the demand for dietary supplements in Russia is growing by 20–25% per year. TASS, 2023. URL: <https://tass.ru/obschestvo/18641517> (accessed December 15, 2024). (In Russ.)

Geographical location and climate. *Official Tatarstan*. URL: <https://tatarstan.ru/about/geography.htm> (accessed December 15, 2024). (In Russ.)

Hwang B.H., Lee H.J., Kang H.Y., Liu S., Cho J.H., Zhao J. Studies on the analysis of special components of major pine needles for searching of the new functional substances (I)-analysis of pectin, tannin and terpenoids. *Journal of Forest and Environmental Science*, 1997, no. 1, pp. 134–142.

Ivanova N.V., Popova O.V., Babkin V.A. Study of the influence of various factors on the yield and some characteristics of pectin substances in larch bark. *Chemistry of plant raw materials*, 2003, no. 4, pp. 43–46. (In Russ.)

Kamenev Ya.A. Conceptual aspects of improving the territorial planning of the regional forest industry complex. *Russian entrepreneurship*, 2015, vol. 2, no. 8, pp. 75–79. (In Russ.)

Khurshkainen T.V., Kuchin A.V., Skripova N.N. Patent no. 2493172 C1 Russian Federation, IPC C08B 37/06. Method for processing fir wood greenery. Appl. no. 2012116170/134, appl. 04/20/2012, publ. 09/20/2013. (In Russ.)

Kosyanskiy B.S., Kosyanskaya E.B. Method for obtaining pectin. Author's certificate no. 465172. USSR, 1976. Bull. no. 12. (In Russ.)

*Kulkova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P.* Multiparameter assessment of the taxonomic proximity of spruce species (*Picea a.* Dietr.) by the pigment composition of needles. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature management*, 2018, Vol. 37, no. 1, pp. 5–18. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.1.5 (In Russ.)

*Levdanskiy V.A., Butylkina A.I., Kuznetsov B.N.* Patent no. 2332438 C1 Russian Federation, IPC C09F 1/00, C11B 11/00, C11B 1/10. Method of processing spruce bark. Appl. no. 2007114668/04, appl. 04/18/2007, publ. 08/27/2008. (In Russ.)

*Mahmoud R., Hjouji K., Mehdaoui I., Saoudi Hassani E. M., Ben Abbou M., Majbar Z., Rais Z.* The needles of Aleppo pine from the province of Taza-Morocco – a biomaterial of great potential. *Journal of Ecological Engineering*, 2023, no. 1, pp. 41–50. DOI: 10.12911/22998993/156008.

*Nakhmedov F.G., Frumkin M.L., Kalunyants K.A., Grebeshova R.N., Rumyantseva G.N., Zaitseva N.N.* Method for producing pectin. Author's certificate no. 467732. USSR, 1975. Bull. no. 15. (In Russ.)

*Nushtaeva A.V.* Wood chemistry: textbook. Penza: PSUAS, 2013. 100 p. (In Russ.)

*Obolenskaya A.V., Elnitskaya Z.P., Leonovich A.A.* Laboratory work on wood and cellulose chemistry. Moscow: Ecology, 1991. 319 p. (In Russ.)

*Patova O.A., Makarova E.N., Shakhmatov E.G.* Patent no. 2448119 C1 Russian Federation, IPC C08B 37/06, A23L 1/0524. Method for obtaining polysaccharides from wood greenery of coniferous plants. Appl. no. 2010121802/13, appl. 05/28/2010, publ. 04/20/2012. (In Russ.)

*Permyakova G.V., Aniskina A.A.* Dynamics of the content of pectin substances in the bark of *Larix sibirica* and *Larix gmelinii*. *Chemistry of plant raw materials*, 2024, no. 4, pp. 80–88. DOI: 10.14258/jcpr.20240412916. (In Russ.)

*Ptichkina N.M., Ishin A.G., Danilova I.A.* Patent no. 2055484 C1 Russian Federation, IPC A23L 1/0524. Method for obtaining pectin. Appl. no. 5035191/13, appl. 03/31/1992, publ. 03/10/1996. (In Russ.)

*Rechkina E.A.* Processing of wood greenery of Scots pine to obtain pectin substances. Diss. ... Cand. Tech. Sci. Krasnoyarsk, 2012. 138 p. (In Russ.)

*Rechkina E.A., Gubanenko G.A., Rubchevskaya L.P.* Patent no. 2364409 C1 Russian Federation, IPC A61K 36/15. Method for processing wood greenery of Scots pine. Appl. no. 2008126692/15, appl. 06/30/2008, publ. 08/20/2009. (In Russ.)

*Rechkina E.A., Gubanenko G.A., Rubchevskaya L.P.* Isolation of pectin substances from wood greenery of Scots pine. *Chemistry of plant raw materials*, 2010, no. 4, pp. 189–190. (In Russ.)

*Roshchin V.I., Vasilyev S.N., Pavlutsкая I.S., Kolodynsкая L.A.* Patent no. 2017782 C1 Russian Federation. IPC C09F 1/00, C11B 1/10. Method for processing coniferous wood greenery. Appl. 07/22/1991, publ. 08/15/1994. (In Russ.)

*Sarafanova L.A.* Use of food additives. Technical recommendations. St. Petersburg: GIORD, 2005. 200 p. (In Russ.)

Semenycheva L.L., Kuleshova N.V., Mitin A.V., Belaya T.A., Mochkina D.V. Molecular weight characteristics and sorption properties of pectin extracted from different substrates. *BHEI. Applied chemistry and biotechnology*, 2020, vol. 10, no. 4, pp. 728–737. DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-4-728-737. (In Russ.)

Shakhmatov E.G., Udoratina E.V., Atukmaev K.V., Makarova E.N. Extraction and structural characteristics of pectic polysaccharides from *Abies sibirica* L. *Carbohydrate polymers*, 2015, no. 123, pp. 228–236. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.01.041.

Sheloukhina N.P., Abaeva R.Sh., Aimukhamedova G.B. Pectin and parameters for its production. Frunze, 1987. 91 p. (In Russ.)

Slathia P.S., Raina N., Kiran A., Kour R., Bhagat D., Sharma P. Dilute acid pretreatment of pine needles of *Pinus roxburghii* by response surface methodology for bioethanol production by separate hydrolysis and fermentation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2020, no. 1, pp. 95–106. DOI: 10.1007/s13399-019-00433-1.

Tipsina N.N., Tipsin E.A., Baturina N.G. Pectins from coniferous trees. Prospects for their use in the food industry. *Bulletin of KrasSAU*, 2014, no. 12, pp. 231–233. (In Russ.)

Ushanova V.M., Batura N.G., Vorobyova Z.K. Study of the influence of functional groups of pectins from the bark of coniferous trees on their gelling properties. *Conifers of the boreal zone*, 2008, vol. 25, no. 3-4, pp. 362–364. (In Russ.)

Willfer S., Sundberg A., Hemming J., Holmbom B. Polysaccharides in some industrially important softwood species. *Wood Sci. Technol.*, 2005, no. 39, pp. 245–258. DOI: 10.1007/s00226-004-0280-2.

Yartseva N.A., Permyakova G.V. Method for obtaining pectin from plant raw materials. Author's certificate no. 563154. USSR, 1977. Bull. no. 24. (In Russ.)

Ziatdinova D.F., Solovieva E.N., Nazipova L.R., Safina A.V., Valeev K.V., Safin R.G. Modeling of wood moisture absorption processes under changing environmental pressure. *Bulletin of the Technological University*, 2024, vol. 27, no. 1, pp. 25–29. DOI: 10.55421/1998-7072\_2024\_27\_1\_25. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 21.03.2025

---

**Сафин Р.Г., Валеев К.В., Степанова Т.О.** Обзор исследований по извлечению пектина и побочных продуктов из недревесных частей хвойных пород // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 444–466. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.444-466

Особые характеристики хвойных деревьев определяют сложность их изучения и огромную важность с различных точек зрения. Хвойные породы, как правило, считаются одним из самых сложных лигноцеллюлозных видов сырья для экстракции биологически активных веществ, пригодных для ферментации, в первую очередь, из-за природы и количества лигнина. По химическому составу хвойные деревья содержат большое количество ценных биологически активных

веществ: пектин, хвойный воск, антоцианидиновый краситель. Пектин защищает клетки от окислительного стресса, способствует омоложению и укреплению иммунитета; хвойный воск является перспективным компонентом для косметической промышленности, обладающим антисептическими, противовоспалительными и увлажняющим свойствами; антоцианидиновый краситель широко применяют в пищевой промышленности, особенно в производстве напитков, кондитерских и молочных продуктов, благодаря его натуральности, яркому цвету и антиоксидантной активности. В работе представлены результаты исследований по извлечению пектина и побочных продуктов из хвои и коры сосны, ели и лиственницы, произрастающих на территории Российской Федерации и Европы, и их сравнительный анализ с показателями качества пектинов из кожуры, ядрышек и жмыха яблок, жмыха свеклы, лимонной корки. Установлено, что пектин из древесной зелени сосны обыкновенной характеризуется самым высоким значением показателя комплексообразующей способности и количеством карбоксильных групп, отличается низкой степенью этерификации по сравнению с фруктовыми и ягодными пектинами. По результатам аналитического исследования по извлечению пектина и побочных продуктов из недревесных частей хвойных пород выявлено, что: в качестве основных экстрагентов применяют различные виды кислот (азотную, соляную, ортофосфорную, серную, лимонную, водный раствор щавелевокислого аммония); для оценки качества извлечения веществ предлагаются различные методы и способы анализа с использованием современных аппаратов (для определения степени этерификации – потенциометрическое титрование, для изучения сорбционной способности пектина – метод обратного комплексонометрического титрования и т. д.); отсутствуют оптимальные отработанные в промышленности технологии. В связи с этим разработка новых технологий по извлечению пектина и побочных продуктов из недревесных частей хвойных пород деревьев является актуальной.

Ключевые слова: пектин, хвоя, кора, сосна, ель, лиственница, экстракция.

**Safin R.G., Valeev K.V., Stepanova T.O.** Review of studies on the extraction of pectin and by-products from non-wood parts of coniferous trees. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 444–466 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.444-466

The special characteristics of conifers determine the complexity of their study and their great importance from various points of view. Conifers are generally considered to be one of the most difficult lignocellulosic raw materials for the extraction of biologically active substances suitable for fermentation, primarily due to the nature and amount of lignin. In terms of chemical composition, conifers contain a large number of valuable biologically active substances: pectin, pine wax, anthocyanidin

dye. Pectin protects cells from oxidative stress, promotes rejuvenation and strengthens the immune system; pine wax is a promising component for the cosmetic industry, possessing antiseptic, anti-inflammatory and moisturizing properties; anthocyanidin dye is widely used in the food industry, especially in the production of beverages, confectionery and dairy products, due to its naturalness, bright color and antioxidant activity. The paper presents the results of studies on the extraction of pectin and by-products from the needles and bark of pine, spruce and larch growing in the Russian Federation and Europe, and a comparative analysis with the quality indicators of pectins from the peel, kernels and cake of apples, beet cake and lemon peel. It has been established that pectin from Scots pine wood greenery is characterized by the highest value of the complexing capacity indicator and the number of carboxyl groups, and has a low degree of esterification compared to fruit and berry pectins. According to the results of an analytical study on the extraction of pectin and by-products from non-woody parts of conifers, it was revealed that: various types of acids are used as the main extractants, such as nitric, hydrochloric, orthophosphoric, sulfuric, citric and an aqueous solution of ammonium oxalate; to assess the quality of the extraction of substances, various analytical methods and analysis techniques using modern equipment are proposed (to determine the degree of esterification – potentiometric titration, to study the sorption capacity of pectin – the method of reverse complexometric titration, etc.); there are no optimal technologies developed in industry. In this regard, the development of new technologies for the extraction of pectin and by-products from non-woody parts of coniferous trees is relevant.

**Key words:** pectin, needles, bark, pine, spruce, larch, extraction.

---

**САФИН Рушан Гареевич** – заведующий кафедрой переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, профессор, доктор технических наук. SPIN-код: 9071-4441. ORCID: 0000-0002-7344-9242.

420015, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Россия. E-mail: safin@kstu.ru

**SAFIN Rushan G.** – DSc (Technical), Professor, Head of the Department of Wood Materials Processing, Kazan National Research Technological University. SPIN-code: 9071-4441. ORCID: 0000-0002-7344-9242.

420015. K. Marksa str. 68. Kazan. Russia. E-mail: safin@kstu.ru

**ВАЛЕЕВ Кирилл Валерьевич** – доцент кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, кандидат технических наук. SPIN-код: 3659-1364. ORCID: 0000-0002-5537-9332.

420015, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Россия. E-mail: kirval116@mail.ru

**VALEEV Kirill V.** – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Wood Materials Processing, Kazan National Research Technological University. SPIN-code: 3659-1364. ORCID: 0000-0002-5537-9332.

420015, K. Marksa str. 68. Kazan. Russia. E-mail: kirval116@mail.ru

**СТЕПАНОВА Татьяна Олеговна** – доцент кафедры «Переработки древесных материалов» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), кандидат технических наук. SPIN-код: 1853-4131. ORCID: 0000-0001-8439-8033.

420015, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Россия. E-mail: stepanova-211190@yandex.ru

**STEPANOVA Tatiana O.** – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Wood Materials Processing, Kazan National Research Technological University (KNITU). SPIN-code: 1853-4131. ORCID: 0000-0001-8439-8033.

420015, K. Marx str. 68. Kazan. Russia. E-mail: stepanova-211190@yandex.ru