

УДК 542.61:66.081.63:674.032.14

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИЮ ВОДНЫХ ЭКСТРАКТОВ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ

© **Б.Н. Баженов***, **В.А. Хуторянский**

*Иркутский государственный университет, ул. К. Маркса, 1, Иркутск,
664003, Россия, scorio1956@mail.ru*

Основной экстрагируемый водой компонент древесины лиственницы – арабиногалактан (АГ). Несмотря на широкий спектр возможного применения в качестве ценного биологического продукта и высокое содержание в древесине (до 25% и выше), разнообразному его использованию препятствуют относительно высокие затраты, связанные с выделением и очисткой. Значительного снижения себестоимости АГ можно достичь, применяя современные мембранные технологии (в частности – ультрафильтрацию) при комплексной переработке древесного сырья, включая уже существующие отходы лесопиления.

Поэтому актуальной задачей оптимизации процесса выделения АГ является анализ факторов, которые определяют условия ультрафильтрации водных экстрактов древесины лиственницы и влияют на выход АГ и скорость процесса. В данной работе исследовано влияние происхождения сырья, типа мембран и pH на основные характеристики ультрафильтрации. Оказалось, что происхождение исходного сырья влияет как на начальную, так и на конечную скорость ультрафильтрации. Выход АГ для лиственницы сибирской выше, чем для даурской, а наиболее высокий выход наблюдался для отходов вторичной переработки древесины. Увеличение pH экстракта повышает скорость ультрафильтрации. Сравнение гидрофильных мембран на базе полисульфонамида и на основе смеси ацетатов целлюлозы, имеющих близкий размер пор, показало практическую сходность основных характеристик ультрафильтрации, а гидрофобные мембраны на основе фторопласта неприменимы для концентрирования водных растворов АГ из-за низкой скорости ультрафильтрации. Результаты позволят оптимизировать процесс получения АГ.

Ключевые слова: арабиногалактан, ультрафильтрация, древесина лиственницы.

Для цитирования: Баженов Б.Н., Хуторянский В.А. Анализ факторов, влияющих на ультрафильтрацию водных экстрактов древесины лиственницы // Химия растительного сырья. 2025. №3. С. 342–349. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250315487>.

Введение

Огромный потенциал растительного сырья заключается в чрезвычайном разнообразии возможностей его использования, уникальности отдельных компонентов и постоянного их воспроизводства за счет биохимического синтеза. Актуальной задачей всегда остается рациональное использование природных ресурсов, в том числе возобновляемых, растительных. Особенный интерес для нашей страны представляет лиственница, занимающая около 40% общей площади лесов, в которых сосредоточена треть общих запасов древесины [1].

Древесина лиственницы имеет высокий объемный вес, повышенную смолистость и значительное содержание экстрактивных веществ, таких как терпены, смоляные кислоты, ароматические соединения, полифенолы (в том числе – биофлавоноид дигидрокверцетин, ДКВ), некоторые гемицеллюлозы (в том числе – арабиногалактан, АГ) и пр. При этом содержание водорастворимых веществ может достигать 25% и более [2], основную часть из них (в среднем около 10–15% и более от веса абсолютно сухой древесины (а.с.д.)) составляет гидрофильный полисахарид – арабиногалактан, обладающий целым комплексом полезных свойств.

При использовании древесины лиственницы в качестве сырья для целлюлозно-бумажного производства все эти компоненты безвозвратно теряются. Отходы распиловки древесины, составляющие до 50 и более процентов от перерабатываемого для этих целей сырья, возможно далее использовать и по большей части уже применяются для производства целлюлозы, экологических, легкоразлагаемых упаковочных материалов, топливных пеллет. Однако перечисленные ценные компоненты древесины при этом также теряются.

* Автор, с которым следует вести переписку.

Ранее выделение АГ предлагалось упариванием водного экстракта после его очистки сорбентом от низкомолекулярных соединений [3] или осаждением АГ органическим растворителем из водного экстракта предварительно обработанной органическим растворителем древесины [4, 5]. В последнее время для этих целей предлагаются мембранные способы разделения как одни из самых технологичных методов выделения и очистки подобных соединений. Однако все разработки, как опубликованные в научных статьях, так и защищенные многочисленными патентами [6, 7], остаются нереализованными в промышленности. Кроме того, в большинстве публикаций, посвященных изучению ультрафильтрации экстрактов древесины лиственницы, авторами не указывается, какая ее часть использовалась для получения опилок и какая проводилась предварительная подготовка исходного материала. Например, для получения ДКВ обычно используется экстракция органическим растворителем комлевой части древесного ствола (не выше 1.5 м от поверхности почвенного покрова), предварительно очищенной от коры и заболони [8–10]. В то же время отходы лесопиления обычной деловой древесины лиственницы, не предназначенной специально для получения ДКВ, практически не рассматриваются в качестве потенциального сырья.

В данной работе исследовано влияние на процесс ультрафильтрации следующих факторов:

- происхождение исходного сырья (включая отходы производства пиломатериалов);
- его влажность;
- рН исходного экстракта;
- тип используемой мембраны.

Для этого определялись:

- состав фильтрата и концентрата: содержание в них АГ и ДКВ по отношению к исходному экстракту;
- скорость фильтрования на начальном этапе и в конце процесса.

Экспериментальная часть

Тип и характеристики используемых мембран. Единственный производитель плоских мембран в России ЗАО «Владипор» выпускает в основном два типа полярных мембран: УПМ-50 и МФАС.

Нами использовались:

- мембраны УПМ-50 на базе ароматического полисульфонамида, нанесенного на подложку из полиэфирных волокон, средний диаметр пор – 60 ± 3 нм, рабочий диапазон рН – от 2 до 12, максимальная температура по воде – 100 °С;
- мембраны типа МФАС-Б1 – смесь ацетатов целлюлозы, средний размер пор составляет 50 нм, общая пористость – 80–85%.

В качестве сырья использовали деловую древесину лиственницы сибирской, заготовленную в окрестностях г. Братска (образец 1 и образец 2), и комлевую часть (не выше 1–1.5 м от поверхности) лиственницы даурской (Гмелина), заготовленную в окрестностях г. Благовещенска (образец 3 и образец 4). Для экстракции использовали измельченные и отсортированные до 2–5 мм фракции образцов древесины:

- Образец 1 получен при обычной распиловке деловой древесины; влажность – $45 \pm 5\%$, содержание ДКВ – $0.45 \pm 0.05\%$ (от абсолютно сухой древесины, далее – а.с.д.), содержание АГ – 14–18%;
- Образец 2 получен при распиловке досок после предварительной сушки; влажность – не более 10%, содержание ДКВ и АГ – те же, что и для образца 1 (что совпадает с данными В.А. Бабкина и сотр. [11]);
- Образец 3 получен после окорки и удаления заболони, специально заготовленной для получения ДКВ сырья; влажность – $10 \pm 2\%$, содержание ДКВ – $3.2 \pm 0.6\%$, АГ – 11–15% (от а.с.д.);
- Образец 4, то же, что образец 3, после однократного обессмоливания метанолом и его удаления; влажность – $4 \pm 1\%$, содержание ДКВ – $0.51 \pm 0.2\%$, АГ – 11–15% (от а.с.д.).

Водная экстракция. В экстрактор, содержащий лиственничные опилки при соотношении сырье (в пересчете на а.с.д.): экстрагент 1 : 5 подавали деминерализованную воду. Водную экстракцию в условиях, как рекомендовано ранее [12], проводили в течение 60 мин при температуре 90–95 °С и постоянном перемешивании. Экстракт отфильтровывали от грубых примесей через капроновый фильтр марки 0.45 мкм RC. Отжим сырья проводили на лабораторном гидропрессе при давлении 100 кгс/см². Получали светлый, слегка опалесцирующий водный экстракт. Экстракцию с тем же сырьем повторяли, как описано выше. Оба экстракта объединяли и подвергали микрофильтрации от механических частиц на фильтрах «синяя лента». Получали фильтрат с концентрацией растворенных веществ $2.4 \pm 0.2\%$ для образцов 1 и 2 и $1.75 \pm 0.25\%$ для образцов 3 и 4, и с концентрацией ДКВ 0.132 ± 0.003 мг/мл для Обр. 1, 2 и 4 и 0.87 ± 0.18 мг/мл для Обр. 3.

Условия ультрафильтрации (УФ). Выделенный фильтрат подвергали УФ на установке тангенциальной фильтрации в атмосфере азота с использованием мембран МФАС Б-1 и УПМ-50. Использовали реактор объемом 200 мл при скорости циркуляции 70 мл/мин, площади фильтрации 44 см², при постоянном перемешивании 240 об./мин и давлении 0.7 атм.

Следует отметить, что попытка использования гидрофобной мембраны УФФК на основе фторопласта Ф42Л на подложке из нетканых материалов (размер пор – 0.05 мкм) показала, что начальная скорость УФ в сотни раз ниже, чем на гидрофильных мембранах.

Обессмоливание опилок (образец 4). Преобладающим компонентом экстракта древесины лиственницы наряду со смолами является дигидрокверцетин (до 4%). Поэтому под обессмоливанием опилок в данном случае подразумевается удаление экстрактивных веществ органическим экстрагентом. Основным производителем дигидрокверцетина и арабиногалактана в России, Благовещенский ЗАО «Аметис», использует с этой целью этанол, хотя экономически более целесообразно применение метанола [13–15], которые практически не отличаются по своим характеристикам в качестве экстрагента ДКВ. В качестве одного из образцов потенциального сырья для получения АГ исследовался образец, предварительно проэкстрагированный метанолом.

Опилки лиственницы Гмелина экстрагировали, как описано ранее [14]. В экстрактор с обратным холодильником, содержащий лиственничные опилки, подавали пар из парогенератора до образования паров в обратном холодильнике. Приливали метанол в соотношении 1 : 5 и при перемешивании кипятили 30 мин. После охлаждения до 50 °С экстракт декантировали, промывали метанолом (10% от исходного объема экстрагента), метанол отгоняли. Опилки переносили в сушильный шкаф и выдерживали 3 ч при 105 °С. Водную экстракцию проводили в условиях, как описано выше.

Изменение рН экстрактов. Исходный рН экстракта АГ = 4.5±0.2 изменяли добавлением СН₃СООН или 10% раствора NaHCO₃.

Анализ продуктов. Отбирали аликвоту фильтрата (1 мл) через каждые 10 мл образования фильтрата, упаривали и высушивали до постоянного веса при 105 °С, учитывали вклад примесей после анализа на содержание АГ в исходном сырье, как описано ранее Кузнецовым Б.Н. и сотр. [16].

Эту величину после вычитания содержания ДКВ можно с достаточной степенью точности использовать для характеристики содержания АГ, так как водный экстракт содержит незначительное количество содержащихся в древесине и способных переходить в него экстрактивных веществ (содержание от массы а.с.д.: зольность – 0.1%, экстрагируемые эфиром смолы – 1.1% [17]).

Для определения содержания ДКВ использовали жидкостный хроматограф «Миличром А-02»; колонка: Silasorb 120-5-С18, зерно 5.0 мкм; подвижная фаза: 70% – водный раствор трифторуксусной кислоты 0.1% рН 1.8–2.0, 30% – ацетонитрил; λ 290 nm. Относительное стандартное отклонение площади пика ДКВ (S) составило 0.5% [18]. В качестве эталона сравнения использовали Государственный Стандартный образец дигидрокверцетина (ФС 42-3853-99 Дигидрокверцетин – стандартный образец).

Обсуждение результатов

В таблице 1 приведено сравнение скоростей УФ для разных мембран: на базе ароматического полисульфонамида (УПМ-50) и смеси ацетатов целлюлозы (МФАС-Б1), имеющих близкий средний диаметр пор – 50–60 нм. Из результатов следует, что для образцов 1–3 начальные и конечные скорости УФ не зависят от материала мембран, хотя образец 3 (комлевая часть) содержит ДКВ в 6 раз выше, и следовало ожидать снижения скорости. Однако начальные скорости для экстракта, полученного из предварительно обессмоленного образца 4, оказались более чем в 1.5 раза выше, чем для образцов 1–3.

Следует отметить, что ранее [3] при УФ содержащих АГ экстрактов на полисульфонамидных и ацетатцеллюлозных мембранах также были получены близкие результаты.

Как следует из таблицы 2, при УФ экстрактов древесины сибирской лиственницы объем концентрата уменьшается по отношению к исходному экстракту в 6.2–8.7 раза и достигается повышение концентрации АГ в 5.2–8.2 раза. Выход АГ для древесины лиственницы сибирской практически не зависит от исходных опилок и составляет 73–83% от содержащегося в древесине. Соответственно, скорость УФ, как начальная, так и в конце фильтрования (табл. 1) в случае экстракта, полученного из заранее высушенного сырья (образец 2), почти на 20% превышает таковую для сырья несусушеного. Возможно, это связано с попаданием в экстракт большего количества экстрактивных смоляных кислот, терпенов и т.д. в случае сырья с большей

влажностью. Такие «добавки», вероятно, приводят к более быстрой закупорке пор мембраны. Влажность исходного сырья, полученного непосредственно при распиловке заготовленной древесины либо после переработки предварительно подвергшейся сушке древесины, также не оказывает заметного влияния как на концентрацию АГ в концентрате, так и на его выход (табл. 2).

Изучено влияние pH исходного экстракта на процесс его ультрафильтрационного концентрирования. pH исходного экстракта составляет 4.5 ед. и определяется присутствием ДКВ, добавление 1 мл уксусной кислоты на 150 мл экстракта уменьшало pH до 3.2 ± 0.1 . Добавка 1.5–3 мл 10%-ного раствора бикарбоната натрия увеличивало pH до 7.3 ± 0.1 . Как следует из таблицы 2, каких-либо значимых изменений как содержания АГ в концентрате, так и отношения концентраций АГ в концентрате и фильтрате, а также выхода АГ не прослеживается, несколько снижены эти показатели в средах, близких к нейтральной, однако это снижение не превышает 10%.

На снижение содержания АГ в концентрате (и, соответственно, увеличение в фильтрате) при повышении pH до 7.3 ± 0.1 не должна влиять степень ионизации АГ, так как в его структуре нет полярных групп. Также это не может быть объяснимо кислотно-основными свойствами ДКВ (pK_a ОН-групп ДКВ близки к pH экстракта) и образованием-разрушением комплексов АГ-ДКВ. Содержание ДКВ в фильтрате и в концентрате практически совпадает с концентрацией в исходном экстракте, концентрирование ДКВ не превышает 5% и никак не зависит ни от влажности исходного сырья, ни от pH экстракта при фильтровании (табл. 4).

Таблица 1. Сравнение скоростей ультрафильтрации для разных мембран

УПМ 50			МФАС Б1		
pH	Скорость, мл/мин		pH	Скорость, мл/мин	
	начальная	конечная		начальная	конечная
Образец 1			Образец 3		
3.11	2.06	1.14	2.76	2.37	0.90
4.75	2.10	1.43	4.47	3.48	0.77
7.35	2.22	1.40	6.60	3.78	1.71
Образец 2			Образец 4		
3.30	1.96	1.33	2.91	2.86	0.71
4.49	2.22	1.45	4.50	3.38	1.07
7.20	2.66	1.71	7.28	4.97	2.14

Таблица 2. Ультрафильтрация содержащих арабиногалактан экстрактов на мембране УПМ-50

pH	Объем (V), мл			Масса АГ, г			V(Ф)/V(К)	C _{АГФ} /C _{АГК}	Выход АГ, %*
	исходный, экстракта	фильтрата	концентрата	в экстракте	в фильтрате	в концентрате			
Образец 1									
3.11	151	135	15.5	3.431	0.432	2.922	8.7	8.2	83.6
4.75	150	130	19.2	3.450	0.546	2.781	6.8	6.3	80.7
7.35	153	135	17	3.320	0.773	2.436	7.9	6.6	74.8
Образец 2									
3.3	151	130	19.5	3.760	0.767	2.903	6.7	5.9	78.3
4.5	150	130	19.2	3.765	0.676	3.027	6.8	6.3	80.6
7.2	151.5	130	21	3.765	0.962	2.757	6.2	5.2	73.2

* $m(\text{АГ в концентрате}) / m(\text{АГ в исходном экстракте}) \times 100\%$.

Как видно из рисунков 1 и 2, характер зависимости объема фильтрата от времени, как и снижение скорости УФ для образцов 1 и 2, вероятно, соответствует формированию концентрированного диффузионного пограничного слоя или геля АГ на поверхности мембраны. Более низкие скорости для образца 1, вероятно, соответствуют большей концентрации присутствующих примесей, образующих этот слой.

При УФ экстракта АГ комлевой части даурской лиственницы на мембране МФАС-Б1 (табл. 3) объем фильтрата и соответствующее повышение концентрации АГ составляет 4.5–9 раз. Выход АГ при использовании древесины даурской лиственницы, не содержащей примесей коры и заболони, по сравнению с предыдущими результатами на опилках сибирской лиственницы на мембране УПМ-50 ожидался выше, но оказался заметно ниже по сравнению с образцами 1 и 2, особенно при pH, близких к нейтральным. Предварительное обессмоливание (табл. 3, образец 4, по сравнению с аналогичным необессмоленным – образец 3) приводит к несколько лучшим показателям фильтрования, но лишь незначительно увеличивает выход

целевого продукта – с 31 до 38%. Интересно отметить, что увеличение pH хотя снижает выход АГ практически в 2 раза, приводит к возрастанию скорости как начальной, так и в конце фильтрования, по сравнению с более кислыми значениями pH. Это может свидетельствовать об увеличении доли низкомолекулярного продукта в даурской лиственнице при фрагментации (олигомеризации) макромолекул АГ. Вероятно, увеличение pH выше 6.5 приводит к разрушению ассоциатов. Подобные результаты получены и на промышленных экстрактах комлевой части древесины сибирской лиственницы с использованием фосфатного буфера (pH 7.6) и объясняются авторами [19] разрушением ассоциатов АГ.

Как видно из рисунков 3 и 4, снижение скорости УФ для образцов 3 и 4, вероятно, соответствует формированию концентрированного диффузионного пограничного слоя или геля АГ на поверхности мембраны, а для образца 3 возможно также вследствие большей концентрации примесей, препятствующих УФ.

Анализ графической зависимости скорости от времени проведения УФ для всех образцов в кислой области pH показывает, что проницаемость мембран не зависит от типа используемой древесины, а при повышении pH увеличение скорости, вероятно, связано с различием в составе экстрактов, что требует дополнительного исследования.

Если для образцов 3 и 4 (комлевая часть) с содержанием ДКВ 2–4% условия его выделения с использованием различных экстрагентов подробно описаны [13, 20], то для деловой древесины с содержанием ДКВ 0.5% и ниже применение предварительной экстракции для выделения ДКВ не применялось из-за экономической нецелесообразности. Тем более, реальный выход конечного продукта фармакопейного качества с содержанием ДКВ 90–92%, например, при однократной экстракции органическим растворителем (этилацетат, ацетон, этанол) не превышает 10–12% от его содержания в исходном сырье. Использование первоначальной водной экстракции древесины для совместного выделения АГ и ДКВ с последующим отделением ДКВ из водного экстракта органическим экстрагентом ограничено образованием стабильной эмульсии вода – экстрагент, которую не всегда удастся разрушить.

Как следует из таблицы 4, выход ДКВ в фильтратах составляет 82–88% от исходного содержания; выход ДКВ в фильтрате экстракта образца 2 ниже, что можно объяснить частичным окислением ДКВ при сушке, хотя предполагалось, что в пиленой древесине вклад заболони (где ДКВ практически отсутствует) ниже и, соответственно, ожидался более высокий его выход.

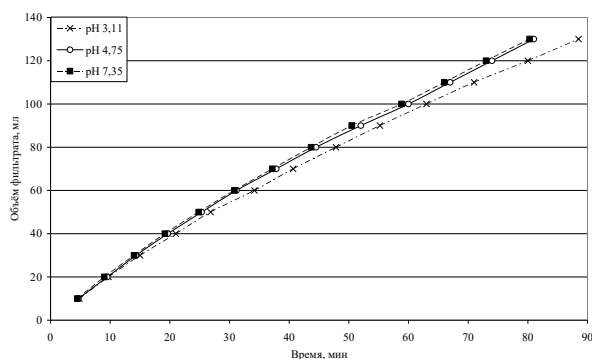


Рис. 1. Ультрафильтрация водного экстракта образца 1 через мембрану УПМ-50

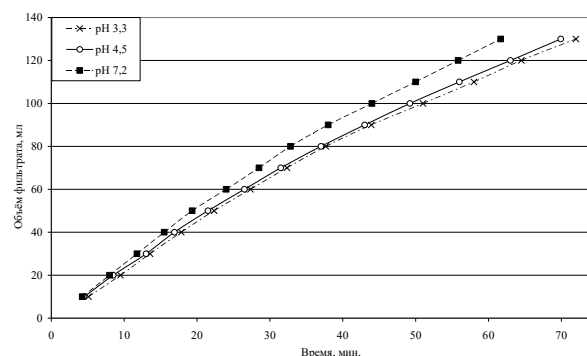


Рис. 2. Ультрафильтрация водного экстракта образца 2 через мембрану УПМ-50

Таблица 3. Ультрафильтрация содержащих арабиногалактан экстрактов на мембране МФАС-Б1

pH	Объем (V), мл			Масса АГ, г			V(Ф)/ V(К)	C _{АГФ} / C _{АГК}	Выход АГ, %*
	исходный, экстракта	фильтрата	концентрата	в экс- тракте	в филь- трате	в концен- трате			
Образец 3									
2.76	158	130	27	2.546	0.624	1.817	4.81	3.91	71.4
4.47	146	130	15.5	2.978	0.663	2.243	8.39	7.09	75.3
6.60	151	130	19.5	2.597	1.752	0.804	4.33	1.56	31.0
Образец 4									
2.91	150	130	19.5	2.106	0.649	1.445	6.67	4.57	68.6
4.50	150.5	130	19.5	2.498	0.975	1.356	6.67	4.10	55.6
7.28	155	130	24.5	2.186	1.313	0.836	5.31	2.42	38.2

* $m(\text{АГ в концентрате}) / m(\text{АГ в исходном экстракте}) \times 100\%$.

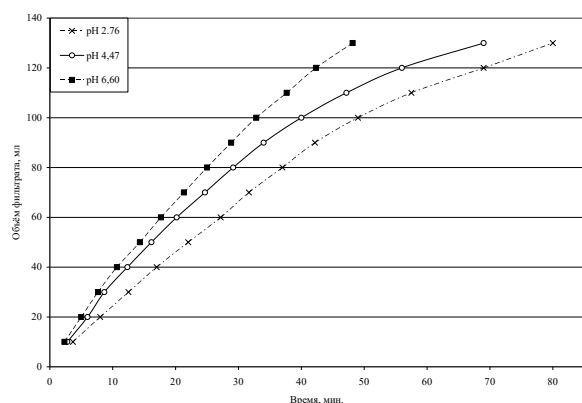


Рис. 3. Ультраfiltrация водного экстракта образца 3 через мембрану МФАС-Б1

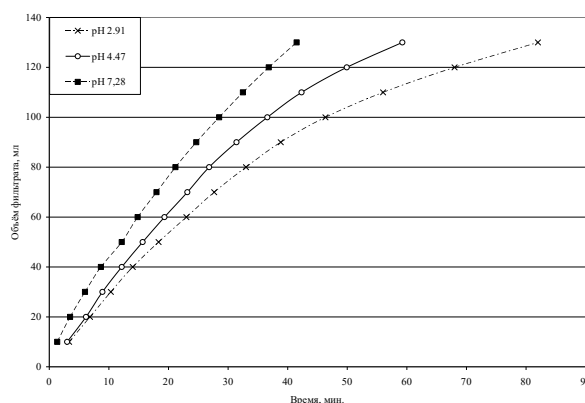


Рис. 4. Ультраfiltrация водного экстракта образца 4 через мембрану МФАС-Б1

Таблица 4. Содержание дигидрокверцетина в исходном экстракте, в фильтрате и концентрате после ультраfiltrации

pH	Объем, мл			Концентрация ДКВ, мкг/мл			Масса ДКВ, г		
	экстракт	фильтрат	концентрат	экстракт	фильтрат	концентрат	экстракт	фильтрат	концентрат
Образец 1									
3.11	151	130	19.5	0.130	0.127	0.151	0.0390	0.0343	0.0046
4.75	150	130	19.2	0.130	0.123	0.156	0.0390	0.0320	0.0060
7.35	151	130	21.0	0.130	0.125	0.147	0.0390	0.0338	0.0050
Образец 2									
3.3	151	135	15.5	0.135	0.132	0.153	0.0405	0.0343	0.0060
4.5	150	130	19.2	0.135	0.133	0.144	0.0405	0.0346	0.0055
7.2	153	135	17.0	0.135	0.129	0.142	0.0405	0.0335	0.0060

Выводы

Использование отходов деловой древесины сибирской лиственницы по сравнению с комлевой частью даурской лиственницы для проведения ультраfiltrации экстрактов АГ более предпочтительно после первичной обработки (сушки) древесины.

Увеличение pH экстракта приводит к возрастанию скорости как начальной, так и в конце фильтрования по сравнению с более кислыми значениями pH. Для комлевой части даурской лиственницы увеличение pH снижает выход АГ практически в 2 раза.

Сравнение различных типов гидрофильных мембран (УПМ-50 на базе ароматического полисульфонамида и МФАС-Б1 на основе смеси ацетатов целлюлозы), имеющих близкий размер пор, показало практическую сходность основных характеристик ультраfiltrации: зависимость скорости процесса и выхода целевого продукта в концентрате. Использование гидрофобной мембраны (УФФК на основе фторопласта Ф42Л) не применимо для концентрирования АГ из-за низких скоростей ультраfiltrации.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Иркутского государственного университета. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Милютин Л.И. Биоразнообразие лиственных России // Хвойные бореальной зоны. 2003. №1. С. 6–9.
2. Антоновский С.Д., Кулакова В.Н., Чочиева А.Ф. Получение и переработка водорастворимых гемицеллюлоз древесины лиственницы // Химия древесины. 1971. №8. С. 147–154.
3. Патент №2002756 (РФ). Способ получения арабиногалактана / А.Н. Кислицын, И.П. Жукова, В.Ю. Пузанова, А.Н. Трофимов, Н.В. Оганина, Е.С. Рыжова, А.А. Поворов, С.П. Савельев. – 1993.
4. Патент №2143437 (РФ). Способ получения высокочистого арабиногалактана / В.А. Бабкин, Л.А. Остроухова, С.А. Медведева, Д.В. Бабкин, Ю.А. Малков, Г.П. Александрова, Л.И. Антонова. – 1999.
5. Патент №2620013 (РФ). Способ получения полисахарида арабиногалактана / С.П. Чепурин, В.А. Мельников, В.Г. Шелепов, А.В. Душкин, Л.П. Сунцова. – 2017.
6. Патент №2256668 (РФ). Способ получения арабиногалактана / В.А. Бабкин, Л.Г. Колзунова, Е.Н. Медведева, Ю.А. Малков, Л.А. Остроухова. – 2005.
7. Патент №2413432 (РФ). Способ получения арабиногалактана / Д.В. Бабкин, А.А. Угренинов. – 2011.
8. Патент №2384587 (РФ). Способ получения арабиногалактана / Е.Л. Мальчиков. – 2010.
9. Патент №2447086 (РФ). Способ получения высокочистого арабиногалактана / Ю.А. Малков, Е.Н. Медведева, В.А. Бабкин. – 2012.
10. Патент №2454429 (РФ). Способ получения арабиногалактана / Ю.А. Малков, Е.Н. Медведева, В.А. Бабкин. – 2012.
11. Малков Ю.А., Медведева Е.Н., Бабкин В.А. Усовершенствованная технология производства высокочистого арабиногалактана // Химия растительного сырья. 2018. №2. С. 183–189. <https://doi.org/10.14258/jcrpm.2018023435>.
12. Левданский В.А., Левданский А.В., Кузнецов Б.Н. Выделение дигидрокверцетина и арабиногалактана из древесины лиственницы водно-этанольными растворами // Химия растительного сырья. 2022. №4. С. 107–113. <https://doi.org/10.14258/jcrpm.20220411959>.
13. Патент №2184561 (РФ). Способ получения дигидрокверцетина / В.А. Хуторянский, В.П. Юревич. – 2002.
14. Патент №2255750 (РФ). Способ получения дигидрокверцетина / В.А. Хуторянский. – 2005.
15. Патент №2318528 (РФ). Способ получения дигидрокверцетина / Е.В. Лифанов, О.А. Колотыгин. – 2008.
16. Кузнецова С.А., Данилов В.Г., Кузнецов Б.Н., Яценкова О.В., Жижаев А.М. Новый интегрированный процесс комплексной переработки древесины лиственницы в ценные химические продукты // Хвойные бореальной зоны. 2003. №1. С. 96–100.
17. Холькин Ю.И. Технология гидролизных производств: учебник для вузов. М., 1989. 496 с.
18. Патент №2114631 (РФ). Способ выделения дигидрокверцетина / Н.А. Тюкавкина, В.А. Хуторянский, Б.Н. Баженов, М.Ю. Сайботалов. – 1998.
19. Медведева Е.Н., Федорова Т.Е., Ванина А.С., Рохин А.В., Еськова Л.А., Бабкин В.А. Влияние способа выделения и очистки арабиногалактана из древесины лиственницы сибирской на его строение и свойства // Химия растительного сырья. 2006. №1. С. 25–32.
20. Патент №2246301 (РФ). Способ получения диквертина / В.А. Бабкин, Л.А. Остроухова, Д.В. Бабкин. – 2005.

Поступила в редакцию 16 июля 2024 г.

После переработки 30 декабря 2024 г.

Принята к публикации 5 марта 2025 г.

*Bazhenov B.N.**, *Khutoryanskiy V.A.* ANALYSIS OF THE FACTORS INFLUENCING THE ULTRAFILTRATION OF AQUEOUS LARCH WOOD EXTRACTS

Irkutsk State University, st. K. Marx, 1, Irkutsk, 664003, Russia, scorpio1956@mail.ru

The main water-extractable component of larch wood is arabinogalactan (AG). Despite a wide range of possible applications as a valuable biological product and high content in wood (up to 25% and higher), its diverse use is hampered by relatively high costs associated with isolation and purification. A significant reduction in the cost of AG can be achieved by using modern membrane technologies (in particular, ultrafiltration) in the complex processing of wood raw materials, including existing sawmill waste. Therefore, an urgent task of optimizing the AG extraction process is to analyze the factors that determine the ultrafiltration conditions of aqueous larch wood extracts and affect the AG yield and the process rate. In this paper, we studied the effect of raw material origin, membrane type and pH on the main ultrafiltration characteristics. It turned out that the origin

* Corresponding author.

of the raw material affects both the initial and final ultrafiltration rates. The AG yield for Siberian larch is higher than for Dahurian larch, and the highest yield was observed for secondary wood processing waste. An increase in the pH of the extract increases the ultrafiltration rate. Comparison of hydrophilic membranes based on polysulfonamide and based on a mixture of cellulose acetates, which have close pore sizes, showed the practical similarity of the main characteristics of ultrafiltration, and hydrophobic membranes based on fluoroplastic are not applicable for concentrating aqueous solutions of AG due to the low ultrafiltration rate. The results obtained will allow optimizing the process of obtaining AG in the case of its industrial implementation.

Keywords: arabinogalactan, ultrafiltration, larch wood.

For citing: Bazhenov B.N., Khutoryanskiy V.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 3, pp. 342–349. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250315487>.

References

1. Milyutin L.I. *Khvoynyye boreal'noy zony*, 2003, no. 1, pp. 6–9. (in Russ.).
2. Antonovskiy S.D., Kulakova V.N., Chochiyeva A.F. *Khimiya drevesiny*, 1971, no. 8, pp. 147–154. (in Russ.).
3. Patent 2002756 (RU). 1993. (in Russ.).
4. Patent 2143437 (RU). 1999. (in Russ.).
5. Patent 2620013 (RU). 2017. (in Russ.).
6. Patent 2256668 (RU). 2005. (in Russ.).
7. Patent 2413432 (RU). 2011. (in Russ.).
8. Patent 2384587 (RU). 2010. (in Russ.).
9. Patent 2447086 (RU). 2012. (in Russ.).
10. Patent 2454429 (RU). 2012. (in Russ.).
11. Malkov Yu.A., Medvedeva E.N., Babkin V.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 2, pp. 183–189. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018023435>. (in Russ.).
12. Levdanskiy V.A., Levdanskiy A.V., Kuznetsov B.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2022, no. 4, pp. 107–113. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220411959>. (in Russ.).
13. Patent 2184561 (RU). 2002. (in Russ.).
14. Patent 2255750 (RU). 2005. (in Russ.).
15. Patent 2318528 (RU). 2008. (in Russ.).
16. Kuznetsova S.A., Danilov V.G., Kuznetsov B.N., Yatsenkova O.V., Zhizhayev A.M. *Khvoynyye boreal'noy zony*, 2003, no. 1, pp. 96–100. (in Russ.).
17. Khol'kin Yu.I. *Tekhnologiya gidroliznykh proizvodstv: uchebnik dlya vuzov*. [Technology of hydrolysis production: textbook for universities]. Moscow, 1989, 496 p. (in Russ.).
18. Patent 2114631 (RU). 1998. (in Russ.).
19. Medvedeva Ye.N., Fedorova T.Ye., Vanina A.S., Rokhin A.V., Yes'kova L.A., Babkin V.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2006, no. 1, pp. 25–32. (in Russ.).
20. Patent 2246301 (RU). 2005. (in Russ.).

Received July 16, 2024

Revised December 30, 2024

Accepted March 5, 2025

Сведения об авторах

Баженов Борис Николаевич – кандидат химических наук, доцент кафедры общей и неорганической химии, старший научный сотрудник, scorpio1956@mail.ru
Хutoryanskiy Виталий Аркадьевич – кандидат химических наук, доцент, научный сотрудник, hutor@chem.isu.ru

Information about authors

Bazhenov Boris Nikolaevich – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor in the Department of General and Inorganic Chemistry, Senior Researcher, scorpio1956@mail.ru
Khutoryanskiy Vitaly Arkadyevich – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Researcher, hutor@chem.isu.ru