

## ОСНОВНЫЕ МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ АРАБИНОГАЛАКТАНА, ДИГИДРОКВЕРЦЕТИНА ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ

**И.Ю. Потапов**, младший научный сотрудник

**В.А. Углов**, кандидат биологических наук

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН

E-mail: nitip777@yandex.ru

**Ключевые слова:** арабиногалактан, дигидрокверцетин, патентный поиск, изобретения, флавоноиды, ультрафильтрация, распылительная сушка.

*Реферат. Представлены основные результаты патентных исследований по способам получения арабиногалактана и дигидрокверцетина, используемых в мировой практике. Интерес к данной проблеме связан с уникальными биологическими свойствами указанных биологически активных добавок. Выполнен патентный поиск глубиной 25 лет. Установлено лидирующее положение изобретателей из РФ, которым принадлежит 77 % патентов. Приведены пики исследований и дана информация о ведущих патентообладателях. Установлены три основных направления переработки лиственницы сибирской: выделение АГ, ДКВ и комплексные способы переработки. Выявлено, что изобретатели РФ отдают предпочтение получению АГ путем осаждения целевого продукта в органическом растворителе. В меньшей степени используется метод фильтрации с выделением целевого продукта методом распылительной сушки. Способы получения ДГВ представлены в двух патентах. Комплексные методы обработки древесины позволяют получать наряду с биофлавоноидами (ДГВ) и олигосахаридами (в том числе АГ) и технические продукты: древесные смолы, масла и др. Большой интерес представляют запатентованные сульфатированные производные АГ, которые обладают антикоагулянтной и гиполипидемической активностью и могут стать альтернативой гепарину.*

*Зарубежные авторы (в основном из КНР) патентуют композиции АГ с биологически активными компонентами, что позволяет получать в итоге продукты лечебно-профилактического действия. В отдельных изобретениях авторов из КНР также патентуется сульфатированный АГ. Отдельные изобретатели из США патентуют способы, в которых очищенный АГ и его модификации действуют как носители для доставки терапевтического агента к клеточным рецепторам, что соответствует принципу адресной доставки препаратов, который в последнее время становится доминирующим.*

## MAIN WORLD TRENDS IN OBTAINING ARABINOGALACTAN, DIHYDROQUERCETIN FROM LARCH WOOD

**I.Yu. Potapov**, Junior Researcher

**V.A. Uglov**, PhD in candidate Biological Sciences

Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies RAS

**Keywords:** arabinogalactan, dihydroquercetin, patent search, inventions, flavonoids, ultrafiltration, spray drying.

*Abstract. The paper presents the main results of patent research on methods of preparation of arabinogalactan and dihydroquercetin used in the world practice. The interest to this problem is connected with unique biological properties of these biologically active additives. A patent search with the depth of 25 years was carried out. The leading position of inventors from the Russian Federation, who own 77% of patents, was established. The research peaks are given and information about the leading patent holders is given. 3 main directions of Siberian larch processing are established: AG extraction, DKV and complex methods of processing. It is revealed that the inventors of the Russian Federation give preference to obtaining AG by precipitation of the target product in an organic solvent. To a lesser extent, the filtration method with separation of the target product by spray drying is used. Methods of obtaining AGW are presented in two patents. Complex methods of wood processing make it possible to obtain along with bioflavonoids (BFV)*

*and oligosaccharides (including AG) and technical products: wood resins, oils, etc., as well as biosolids and oligosaccharides (including AG). Of great interest are patented sulfated derivatives of AG, which have anticoagulant and hypolipidemic activity and can become an alternative to heparin. Foreign authors (mainly from China) patent compositions of AG with biologically active components, which makes it possible to obtain products with therapeutic and prophylactic effect. In some inventions of authors from the PRC, sulfated AG is also patented. Some inventors from the USA patent methods in which purified AG and its modifications act as carriers for delivery of therapeutic agent to cell receptors, which corresponds to the principle of targeted drug delivery, which has recently become dominant.*

Арабиногалактан (АГ) из древесины лиственницы Сибирской (*Lárix sibírica*) обладает иммуномодулирующей, гипополипидемической, антимуtagenной, гепатопротекторной, гастропротекторной активностью [1, 2]. Он обладает также свойствами пребиотика, т. е. способен восстанавливать и поддерживать в хорошем состоянии нормальную микрофлору желудочно-кишечного тракта [3, 4].

Дигидрокверцетин (ДКВ) из древесины лиственницы превосходит по своей антиоксидантной активности все известные науке флавоноиды, так как надежно защищает мембраны клеток от повреждающего действия свободных радикалов, оказывает противовоспалительное, противоотечное и гепато-протекторное действие [5, 6]. Благодаря указанным свойствам АГ и ДКВ находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства: в пищевой промышленности, животноводстве, ветеринарии, кормопроизводстве, фармацевтике [7–10].

В связи с изложенным изучение основных мировых тенденций развития способов производства АГ и ДКВ является актуальным и своевременным.

Целью исследования стало определение технического уровня и мировых тенденций передовых способов выработки АГ и ДКВ, выбор наиболее значимых патентов для практического использования в производстве.

Объектами исследований служили отечественные и зарубежные патенты на изобретения, выделенные по базе ФИПС, Espacenet, WIPO, PUBMED, Google. Всего проанализировано более 200 источников. Выделено для рассмотрения 30 отечественных патентов на изобретения и 9 зарубежных.

В работе использовали сравнительно-аналитические методы исследований. Проведена систематизация патентов по приоритетным способам выделения арабиногалактана и дигидроверцетина из лиственницы Сибирской (*Lárix sibírica*), лиственницы Гмелина (*Lárix gmélinii*), установлены временные интервалы, отмечена более высокая активность изобретателей РФ в сравнении с зарубежными авторами. Был проведен патентный поиск глубиной 25 лет.

По классификации МПК (международная патентная классификация) патенты относятся к классам A23L 3/34, A23K 10/30, A23K 20/111, A23K 20/121, A61K 31/15, A61P 9/1. Интерес к данной проблеме просматривается начиная с 1995 г. Анализ патентования изобретений в Российской Федерации по годам представлен на рисунке 1.

Анализ патентной документации позволил выделить три основных направления переработки лиственницы Сибирской (*Lárix sibírica*), лиственницы Гмелина (*Lárix gmélinii*): выделение арабиногалактана (АГ), дигидрокверцетина (ДКВ) и комплексные способы [8]. Исследованные патенты по способу получения АГ можно поделить на два типа: методом ультрафильтрации с применением распылительной сушилки (4 ед.) и методом осаждения целевого продукта в органическом растворителе (9 ед.).

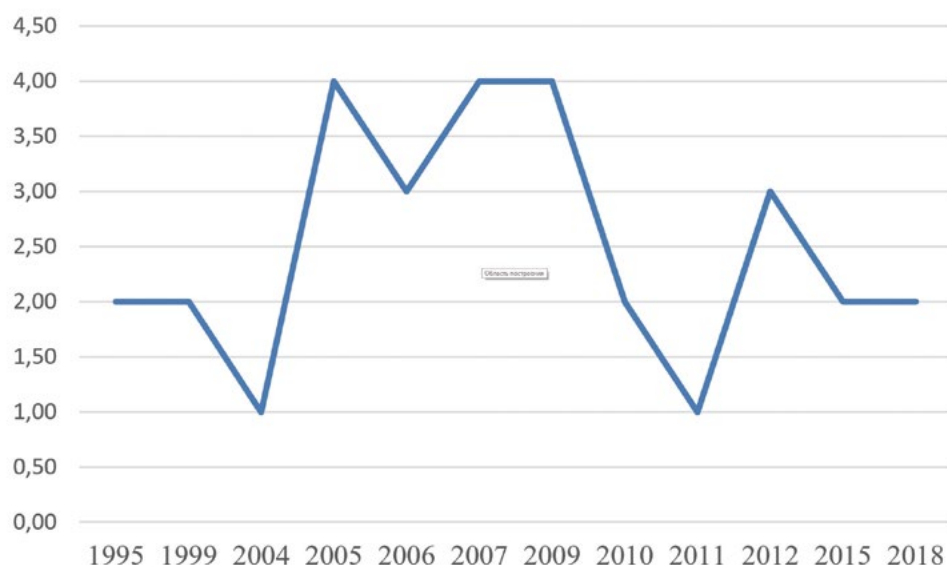


Рис. 1. Динамика патентования изобретений в РФ

Fig. 1. Dynamics of patenting inventions in the Russian Federation

Проведенные исследования выявили основных патентообладателей в области создания технологии получения арабиногалактана и дигидрокверцетина (рис.2).

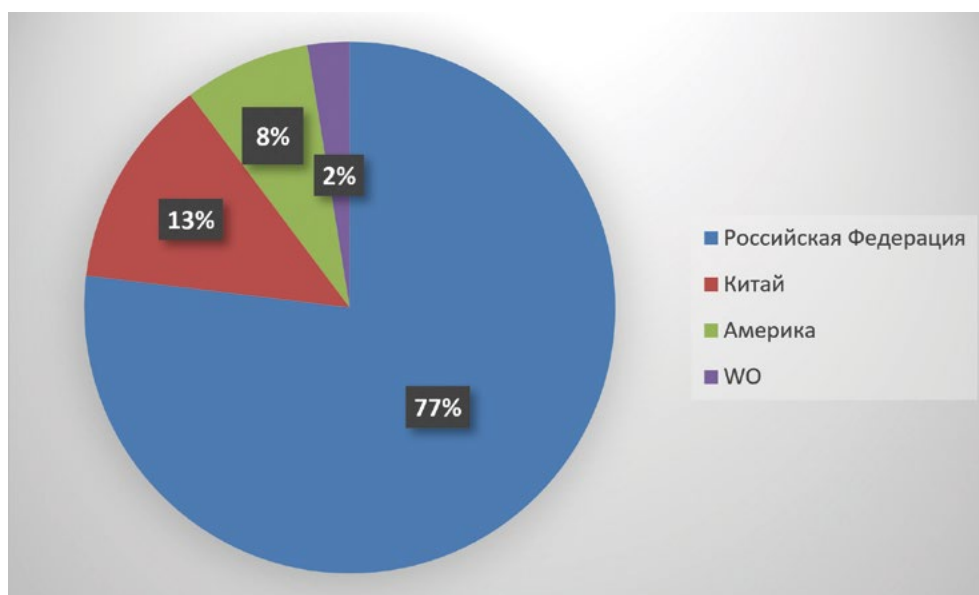


Рис. 2. Основные страны-патентообладатели

Fig. 2. Main patent-holding countries

Ультрафильтрация – процесс мембранного разделения, а также фракционирования и концентрирования веществ, осуществляемый путем фильтрования жидкости под действием разности давлений до и после мембраны. Размер пор ультрафильтрационных мембран варьирует от 0,01 до 0,10 мкм. Типичное применение ультрафильтрации – отделение макромолекулярных компонентов от раствора. Ультрафильтрационные мембраны относятся к пористым мембранам, и в них задержка частиц определяется главным образом их размером и формой относительно размеров пор мембраны [11].

Распылительная сушка – способ удаления растворителя из растворов и суспензий, основанный на впрыскивании капель жидкости в поток газа-носителя, обычно воздуха, нагретого до температуры 100–300 °С, с последующей сепарацией твёрдых частиц. Распылительная сушка – один из основных методов получения сухих продуктов и препаратов в пищевой и в меньшей степени – фармацевтической промышленности [12].

В патентах RU 2256668, RU 2413432, RU 2454429, RU 2655757 для получения целевого продукта используются методы ультрафильтрации и распылительная сушка. Например, в RU 2256668 описан способ получения арабиногалактана, включающий последовательно выполняемые: водную экстракцию арабиногалактана при нагревании из предварительно обессмоленной древесины лиственницы; очистку экстракта от механических и коллоидных примесей; концентрирование экстракта методом ультрафильтрации и выделение целевого продукта методом распылительной сушки.

Изобретение RU 2413432 относится к пищевой промышленности. Согласно предложенному способу, осуществляют экстракцию древесины лиственницы, измельченной до размера опилок, водой в режиме непрерывного перемешивания в течение 30 минут при температуре 20–25 °С. При этом гидромодуль относится как 1 : 5 к массе абсолютно сухого сырья, затем водный экстракт отфильтровывают и концентрируют методом ультрафильтрации с использованием ацетатцеллюлозных мембран. Полученный концентрат обрабатывают при перемешивании водным раствором флокулянта, расход которого составляет 0,03 г/л, и очищают раствор от механических примесей микрофильтрацией. Распылительной сушкой выделяют из концентрата целевой продукт.

Для выделения арабиногалактана могут быть использованы различные органические растворители: алифатические углеводороды, ароматические углеводороды, галогенуглеводороды, нитросоединения, спирты, карбоновые кислоты, простые и сложные эфиры, амиды, нитрилы, кетоны, сульфоксиды и др. [13].

Например, в RU 2273646 описывается способ получения арабиногалактана из древесины лиственницы, включающий экстракцию арабиногалактана из измельченной древесины лиственницы водой, отделение экстракта, его упаривание и осаждение целевого продукта в органическом растворителе. Экстракцию измельченной древесины лиственницы водой осуществляют одновременно с ударно-акустическим воздействием в течение 0,5–1,0 мин. Способ позволяет повысить выход арабиногалактана. Экстракт упаривают до 1/4 объема, охлаждают и выливают при перемешивании в 120 мл спиртового раствора, выпавший в осадок арабиногалактан отфильтровывают, отделяют от спирта, промывают и высушивают.

В RU 2143437 представлен способ получения высокочистого арабиногалактана путем водной экстракции древесины лиственницы, концентрирования экстракта и высаживания продукта алифатическим спиртом. Древесину лиственницы обрабатывают этилацетатом, высушивают, экстрагируют водой при температуре 80–90 °С, экстракт концентрируют, добавляют коагулянт и флокулянт, отделяют от осадка, из фильтрата высаживают продукт этиловым спиртом. Технический результат – получение высокочистого арабиногалактана.

Отдельные изобретения посвящены способам получения дигидрокверцетина. В RU 2629770 изобретение позволяет повысить выход нативного чистотой 92–96 % ДГВ на единицу исходной древесины, упростить технологический процесс, снизить расход органических растворителей и электроэнергии. При комплексной переработке древесины лиственницы из нее получают:

- древесные смолы и масла, используемые при производстве скипидара, канифоли, органических кислот;
- биофлавоноиды: дигидрокверцетин, дигидрокемпферол, нарингенин, находящие применение в качестве антиоксидантов в органическом синтезе, в технике, сельском хозяйстве, про-

изготовлении пищевых добавок, сырья в ветеринарии, фармацевтической промышленности [14, 15];

- органические соединения – олигосахариды (арабиногалактан), используемые в качестве биологически активного вещества при производстве пищевых продуктов, комбикормов, ветеринарных препаратов, косметической продукции, связующего при производстве таблеток, красок, эмульгатора, в качестве клея;

- технические продукты – нативный нерастворимый биополимер древесины, содержащий лигнин и целлюлозу, используемый в качестве сырья для производства микроцеллюлозы, технической целлюлозы, компонента кормов для крупного рогатого скота, сорбента, угольных материалов [16, 17].

В RU 2228943, RU 2547107, RU 2252220 запатентованные способы позволяют получить нативные биофлавоноиды: дигидрокверцетин, дигидрокемпферол, нарингенин, древесные смолы, масла, арабиногалактан, нерастворимый биополимер древесины. В RU 2472887 изобретение позволяет повысить степень удаления из щепы арабиногалактана и флавоноидов, получить экстракт с высокой концентрацией в нем этих компонентов и обеспечить возможность автоматического управления потоками жидких фаз в котле при переработке щепы. В RU 2270218 технический результат изобретения состоит в создании эффективного промышленного способа комплексной переработки отходов заготовки и переработки древесины лиственницы с получением с высоким выходом и высокой степенью чистоты ценных целевых продуктов, которые могут быть использованы в медицине, фармацевтической и парфюмерной промышленности. Также обеспечивается сокращение продолжительности технологических циклов, уменьшение расхода реагентов, упрощение технологии их регенерации и уменьшение количества технологических отходов.

В последнее время возрос интерес к антикоагулянтам, получаемым на основе сульфатированных производных полисахаридов растительного происхождения, которые могли бы быть альтернативой гепарину. Используемый в клинической практике в качестве антикоагулянта гепарин – серосодержащий гликозаминогликан, который получают из печени, лёгких и слизистой оболочки кишечника крупного рогатого скота, – способен вызывать не только побочное действие со стороны различных систем организма, но и быть источником патогенной микрофлоры. Одними из перспективных для практического использования модифицированных полисахаридов растительного происхождения являются сульфатированные производные арабиногалактана.

Часть подобных разработок запатентована изобретателями РФ. Например, в RU 2532915, RU 2319707 запатентованы способы получения сульфатированных производных АГ, обладающих антикоагулянтной и гипополипидемической активностью. В RU 2546965 предложенный способ позволяет получить водорастворимый продукт, содержащий 97,2–98,8 % сульфатированного производного арабиногалактана в виде аммониевой соли, и повысить экологичность и эффективность процесса с использованием новой системы реагентов.

Зарубежные авторы (преимущественно из КНР) патентуют композиции выделенного арабиногалактана с биологически активными компонентами, что позволяет получать продукты лечебно-профилактического действия. Например, в CN 109432242 арабиногалактан лиственницы Гмелина (*Lárix gmélinii*) сочетается с экстрактом виноградного чая, растворимость дигидрокверцетина в воде увеличивается, а биодоступность улучшается.

В CN 110251530 представлена композиция арабиногалактана лиственницы Гмелина (*Lárix gmélinii*), которая включает по весу 3–6 частей арабиногалактана, 0,5–3,0 части инулина и 0,4–3,0 части порошка кокосового ореха; происходит стерилизация готового продукта. Преимущество метода подготовки заключается в низкой стоимости, простоте и легкости реализации. Композиция арабиногалактана показала свою эффективность при лечении диареи и синдрома раздраженного кишечника в клинических испытаниях на добровольцах.

В CN 108991325 представлено равномерное смешивание и перемешивание 50 % по массе арабиногалактана и 50 % по массе водорастворимого пищевого волокна с получением сухой смеси. При применении арабиногалактана, приготовленного указанным способом, можно повысить скорость фагоцитоза и индекс фагоцитоза макрофагов при фагоцитозе куриных эритроцитов, повысить резистентность организма к внешним вирусам и патогенным бактериям, повысить иммунитет организма, можно замедлить процесс старения, а также помочь в профилактике и лечении гериатрических заболеваний.

В CN 101157733 запатентован оригинальный способ раздельного экстрагирования из растительной массы арабиногалактана и дигидроверцетина.

В целом количество иностранных изобретений в данной области существенно ограничено в сравнении с изобретателями из РФ, что может быть связано с ограниченностью лесных массивов лиственницы Сибирской (*Lárix sibirica*) и лиственницы Гмелина (*Lárix gmélinii*).

В WO 9721734A1 предложены способы и устройства для извлечения арабиногалактана и фенолов из древесины лиственницы. Изобретение одновременно позволяет извлекать из лиственницы органические волокнистые соединения, которые могут быть использованы в производстве высококачественных бумажных изделий.

Изобретение CN 101054420 раскрывает способ получения сульфата арабиногалактана, экстрагированного из лиственницы Даурской (*Lárix dahúrica*) с триоксидом серы и пиридином.

В US 5336506A представлено терапевтическое средство с образованием комплекса между терапевтическим средством и полисахаридом, способным взаимодействовать с клеточным рецептором. В одном варианте осуществления изобретения комплекс терапевтического средства, содержащего железо и полисахарид арабиногалактан, может быть сформирован и использован для доставки железа специфически в гепатоциты. Улучшение фармакологических свойств препаратов достигается за счет их направленного транспорта в заданную область, органы или клетки, а также контроля скорости, времени и места действия лекарственного средства в организме.

В US 4950751 предлагается улучшенный способ экстракции галактанов, и особенно арабиногалактана, который включает применение звуковой энергии к смеси галактансодержащего исходного материала и экстракционной среды. Предпочтительно способ включает приготовление смеси стружки западной лиственницы и воды и воздействие на эту смесь акустическим или ультразвуковым полем для повышения извлечения галактана.

В US 5478576 было обнаружено, что в значительной степени очищенный арабиногалактан, продукты его деградации и его избранные модификации действуют как носители для доставки терапевтического агента к клеточным рецепторам.

Представляются перспективными композиции выделенного арабиногалактана с биологически активными компонентами, что позволяет получать продукты лечебно-профилактического свойства для использования их в медицинской практике, в том числе за счет адресной доставки препаратов в заданную область организма, то позволяет усиливать их фармакологическую активность (US 5336506A, CN 108991325, CN 110251530).

В RU 253915, RU 2319707 запатентованы способы получения сульфатированных производных арабиногалактана, обладающих антикоагулянтной и гипополипидемической активностью.

По результатам выполненных исследований для практического применения в производстве могут быть рекомендованы RU 2270218, RU 2629770, RU 2143437, позволяющие повысить выход ценных целевых продуктов с высокой степенью чистоты и существенно снизить энергозатраты на их производство.

Подводя итог, можно сделать вывод, что в целом количество изобретений иностранных авторов в данной области существенно ограничено в сравнении с изобретателями из РФ, что может быть связано с ограниченностью лесных массивов лиственницы. Установлено,

что изобретатели РФ отдают предпочтение получению арабиногалактана путем осаждения целевого продукта в органическом растворителе. В меньшей степени используется метод фильтрации с выделением целевого продукта методом распылительной сушки

Арабиногалактан, полученный любым из представленных методов, не теряет своих уникальных лечебно-профилактических свойств и может широко использоваться в различных отраслях пищевой промышленности, ветеринарии, кормопроизводстве, медицине, косметической отрасли.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Султанов В.С., Лаптева Е.И., Роцин В.И. Клиническое исследование гепатопротектора «Ропрен» при заболеваниях гепатобилиарной системы // Гастроэнтерология Санкт Петербурга. – 2012. – № 4. – С. 7.
2. Кашина Г.В., Мельников В.А., Кашин А.С. Инновация в технологии производства супрамолекулярных комплексов производных полисахаридов (арабиногалактана и хитозана) // Вестник КрасГу. – 2015. – № 4. – С.149–152.
3. Селезнева Н.В., Сергеев А.С., Гребенчиков А.В. Синбиотики – как функциональный компонент питания человека // Современные наукоемкие технологии. – 2009. – № 4. – С. 66–69.
4. Малков Ю.А., Медведева Е.Н., Бабкин В.А. Усовершенствованная технология производства высокочистого арабиногалактана // Химия растительного сырья. – 2018. – № 2. – С. 183–189. – DOI: 10.14258/jcprm.2018023435.
5. Харченко Ю.А., Дмитриев В.Н. Перспективная биологически активная добавка с антиоксидантным действием // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. – 2016. – № 3. – С. 62–66.
6. *Synthesis of Composites in the Betulin-L-Histidine-Arabinogalactan System and Their Physical and Chemical Properties* / E.S. Skurydina [et al.] // Journal of Siberian Federal University. Chemistry. – 2023. – Vol. 16, № 4. – P. 539–551.
7. Максимов В.И., Пайтерова В.В. Влияние БАД «Капилар» на адаптационные возможности организма // Актуальные проблемы биологии в животноводстве: материалы V Междунар. конф. – Боровск: ВНИФБиП. – 2010. – С. 197–198.
8. Модифицированная технология получения полисахарида арабиногалактана из древесины лиственниц сибирской (*Larix sibirical*) и Гмелина (*Larix gmelinii*) / В.А. Мельников, Л.П. Сунцова, А.В. Душкин, В.Г. Шелепов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2015. – Т. 23, № 5. – С. 561–565. – DOI: 10.15372/KhUR20150509.
9. Дрюцкая С.М., Толстенков И.В., Минаева Н.Н. Применение дигидрокверцетина в производстве безалкогольного пива // Пиво и напитки. – 2016. – № 5. – С. 14–17.
10. Бабкин В.А., Остроухова Л.А., Копылова Л.И. Натуральные продукты и их производные, получаемые по технологии замкнутого цикла переработки биомассы лиственницы сибирской // Химия растительного сырья. – 2016. – № 1. – С. 121–126. – DOI: 10.14258/jcprm.2016011193.
11. Орлов Н.С. Ультра- и микрофильтрация: учебное пособие. – М.: РХТУ им. Менделеева. – 2014. – С. 6–17.
12. Метод распылительной сушки [Электронный ресурс] – URL: <https://www.prosushka.ru/35-metod-raspylitelnoj-sushki.html> (дата обращения: 27.06.2023).
13. Аналитическая химия. Свойства органических растворителей [Электронный ресурс.] – URL: <https://www.freechemistry.ru/solv1.htm> (дата обращения: 27.06.2023).
14. Тимакова Р.Т., Тихонов С.Л., Тихонова Н.В. Исследование возможности применения арабиногалактана для хранения охлажденной рыбы // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 10. – С. 106–110. – DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11017.
15. Hörhammer H. A larch biorefinery producing pulp and lactic acid: Doct. diss. – Helsinki, 2014. – 96 p.
16. Фомичев Ю.П., Никанова Л.А., Лашин С.А. Дигидрокверцетин и арабиногалактан – природные биорегуляторы, применение в сельском хозяйстве и пищевой промышленности // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2018. – № 3. – С. 20–34.

17. Никанова Л.А. Использование дигидрокверцетина и арабиногалактана в питании поросят-отъемышей // Вестник АПК Верхневолжья. – 2019. – № 3. – С. 47–50. – DOI: 10.35694/YARCX.2019.47.3.010.

## REFERENCES

1. Sultanov V.S., Lapteva E.I., Roshhin V.I., *Gastroenterologiya Sankt Peterburga*, 2012, No. 4, p. 7. (In Russ.)
2. Kashina G.V., Mel'nikov V.A., Kashin A.S., *Vestnik KrasGau*, 2015, No. 4, pp.149–152. (In Russ.)
3. Selezneva N.V., Sergeev A.S., Grebenshnikov A.V., *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii*, 2009, No. 4, pp. 66–69. (In Russ.)
4. Malkov Yu.A., Medvedeva E.H., Babkin V.A., *Ximiya rastitel'nogo sy'r'ya*, 2018, No. 2, pp. 183–189, DOI: 10.14258/jcprm.2018023435. (In Russ.)
5. Xarchenko Yu.A., Dmitriev V.N., *Racional'noe pitanie, pishhevy'e dobavki i biostimulyatory*, 2016, No. 3, pp. 62–66. (In Russ.)
6. Skurydina E.S., Myz S.A., Kuznetsova S.A., Shakhtshneider T.P., Mechanochemical, Synthesis of Composites in the Betulin-L-Histidine-Arabinogalactan System and Their Physical and Chemical Properties, *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*, 2023, Vol. 16, N 4, P. 539–551.
7. Maksimov V.I., Pajterova V.V., *Aktual'ny'e problemy biologii v zhivotnovodstve* (Actual Problems of Biology in Animal Husbandry), Materials of the V International Conference, Borovsk: VNIFBiP. – 2010. – S. 197–198. (In Russ.)
8. Mel'nikov V.A., Sunczova L.P., Dushkin A.V., Shelepov V.G., *Ximiya v interesax ustojchivogo razvitiya*, 2015, Vol. 23, No. 5, pp. 561–565, DOI: 10.15372/KhUR20150509. (In Russ.)
9. Dryuzchkaya S.M., Tolstenok I.V., Minaeva N.N., *Pivo i napitki*, 2016, No. 5, pp. 14–17. (In Russ.)
10. Babkin V.A., Ostroukhova L.A., Kopylova L.I., *Ximiya rastitel'nogo sy'r'ya*, 2016, No. 1, pp. 121–126, DOI: 10.14258/jcprm.2016011193. (In Russ.)
11. Orlov N.S. *Ul'tra- i mikrofil'traciya* (Ultra & Microfiltration), Moscow: RXTU im. Mendeleeva, 2014, pp. 6–17.
12. <https://www.prosushka.ru/35-metod-raspylitelnoj-sushki.html> (June 27, 2023).
13. <https://www.freechemistry.ru/solv1.htm> (June 27, 2023).
14. Timakova R.T., Tixonov S.L., Tixonova N.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020, Vol. 34, No. 10, pp. 106–110, DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11017. (In Russ.)
15. Hörhammer H. *A larch biorefinery producing pulp and lactic acid*: Doct. diss., Helsinki, 2014, 96 p.
16. Fomichev Yu.P., Nikanova L.A., Lashin S.A., *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, No. 3, pp. 20–34. (In Russ.)
17. Nikanova L.A. *Vestnik APK Verxnevolzh'ya*, 2019, No. 3, pp. 47–50, DOI: 10.35694/YARCX.2019.47.3.010. (In Russ.)