

Влияние методов измельчения бересты на выход биологически активных веществ

Лигостаева Ю.В.¹, Ханина М.А.², Грек О.Р.¹, Родин А.П.²

¹ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России

²ГОУ ВО МО «Государственный гуманитарно-технологический университет» (Орехово-Зуево)

Influence of grinding methods of birch bark on the yield of biologically active substances

Ligostaeva Yu.V.¹, Khanina M.A.², Grek O.R.¹, Rodin A.P.²

¹Novosibirsk State Medical University

²State University of Humanities and Technology (Orehovo-Zuevo)

АННОТАЦИЯ

Введение. Береста содержит ценные биологически активные вещества (БАВ). В связи с этим актуален поиск путей увеличения выхода из нее БАВ.

Цель. Изучить влияние методов измельчения бересты на извлечение из нее БАВ при экстрагировании.

Материалы и методы. Образцы бересты березы повислой (*Betula pendula* Roth.) и березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) измельчались на аппаратах с различными силовыми воздействиями на растительный материал — дисковой (преимущественно сдавливающие, сдвиговые, растягивающие и срезающие усилия), трехвалковой кольцевой (раздавливающие и истирающие усилия) и шаровой (раздавливающие, истирающие и ударно-сдвиговые усилия) мельницах. Проводили морфологическое и микроскопическое исследования, определяли содержание экстрактивных веществ, влаги в измельченных образцах. Анализировали состав и содержание БАВ.

Результаты. Наименьшие изменения в морфологической и анатомической структуре растительного материала наблюдались при использовании дисковой мельницы (сохраняются морфологические признаки бересты и ее клеточное строение), измельчение на трехвалковой кольцевой и шаровой мельницах приводит к серьезным изменениям в морфологической и анатомической структуре бересты (утрачивается морфолого-анатомическое строение, разрушаются клеточные стенки). Сравнительный анализ выхода экстрактивных веществ из измельченных образцов бересты в зависимости от метода измельчения и используемого экстрагента (вода очищенная и спирт этиловый различной концентрации: 96, 80, 70, 40, 20 и 10 %) показал, что наилучшим экстрагентом является 80% спирт этиловый. Наибольший выход экстрактивных веществ отмечен для образца бересты, измельченного в шаровой мельнице — 36.85 %, для измельченного на дисковой мельнице — 29.96 %, на трехвалковой кольцевой — 30.88 %. При исследовании выхода основных групп БАВ (сапонины, дубильные вещества, кумарины, гидроксикоричные кислоты) из измельченных образцов бересты выявлено, что при использовании методов измельчения, не приводящих к разрушению клеточных стенок, выход БАВ лимитируется капиллярно-пористой структурой растительного материала.

Заключение. При использовании методов измельчения, приводящих к разрушению клеточных стенок, наибольший выход биологически активных веществ из бересты наблюдается в случае использования более жесткого воздействия на нее, включающего не только усилия истирания, раздавливания, но и удара (шаровые мельницы).

Ключевые слова: береста, методы измельчения, зависимость, экстракция, биологически активные вещества.

Поступила 08.03.2021
Принята 25.04.2021

Автор, ответственный за переписку
Лигостаева Юлия Валерьевна: ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России. 630091, г. Новосибирск, Красный просп., 52.
E-mail: ligos.yuv@mail.ru

Received 08.03.2021
Accepted 25.04.2021

Corresponding author
Ligostaeva Yulya Valeryevna: Novosibirsk State Medical University, 52, Krasny Prospect, Novosibirsk, 630091, Russia.
E-mail: ligos.yuv@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. Birch bark contains biologically active substances (BAS). In this regard, the search for ways to increase yield of its bioactive agents is relevant.

Aim. To study the effect of birch bark grinding methods on the extract of its BAS during extraction.

Materials and methods. Samples of birch bark of silver birch (*Betula pendula* Roth.) and downy birch (*Betula pubescens* Ehrh.) were ground up on devices with various force effects on plant material — disk (mainly squeezing, shear, tensile and shearing forces), three-roll annular (crushing and abrasive forces) and ball (crushing, abrasive and shock-shear forces) mills. Morphological and microscopic studies were carried out, the content of extractive substances and moisture in the ground up samples was determined. The composition and content of BAS were analyzed.

Results. The smallest changes in the morphological and anatomical structure of plant material were observed when using a disk mill (the morphological features of birch bark and its cellular structure are preserved), grinding on three-roll ring and ball mills leads to serious changes in the morphological and anatomical structure of birch bark (the morphological and anatomical structure is lost, cell walls are destroyed). Comparative analysis of the yield of extractive substances from ground up birch bark samples, depending on the grinding method and the extractant used (purified water and ethyl alcohol of different concentrations: 96, 80, 70, 40, 20 and 10%) showed that the best extractant is 80% ethyl alcohol. The highest yield of extractive substances was noted for a sample of birch bark ground up in a ball mill — 36.85%, for ground up in a disc mill — 29.96%, on a three-roll ring mill — 30.88%. When studying the yield of the main groups of BAS (saponins, tannins, coumarins, hydroxycinnamic acids) from ground up birch bark samples, it was found that when using grinding methods that do not lead to the destruction of cell walls, the yield of BAS is limited by the capillary-porous structure of the plant material.

Conclusion. When using grinding methods that lead to the destruction of cell walls, the greatest yield of BAS from birch bark is observed in the case of using a more severe impact on it, including not only abrasion, crushing, but also impact (ball mills).

Keywords: birch bark, grinding methods, dependence, extraction, biologically active substances.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы рационального использования растительных ресурсов в нашей стране закреплена на законодательном уровне. Создание в России платформы «БиоТех2030», направленной на использование возобновляемого сырья для химической промышленности и органического синтеза, подтверждает необходимость поиска рентабельного способа переработки растительного сырья. Одним из путей ее решения является предварительная обработка лекарственного растительного сырья различными методами: физическими, химическими, биологическими, биохимическими, энзиматическими и их комбинациями [1–3]. Использование перечисленных методов направлено, в первую очередь, на повышение выхода биологически активных веществ (БАВ) из сырья.

Одним из самых простых и эффективных методов увеличения выхода БАВ из сырья является его измельчение, что приводит к увеличению поверхности раздела твердой и жидкой фаз и большему выходу целевого продукта при экстрагировании [4]. Для измельчения растительного сырья могут быть использованы различные машины, отличающиеся конструкцией, принципом воздействия на исходный материал. В дисковой (ножевой) мельнице измельчение проис-

INTRODUCTION

The relevance of the rational use issue of plant resources in our country is fixed at the legislative level. The creation of the BioTech2030 platform in Russia, aimed at using renewable raw material for the chemical industry and organic synthesis, confirms the need to find a cost-effective way of processing plant raw material. One of the ways to solve it is the pretreatment of medicinal plant raw material by various methods: physical, chemical, biological, biochemical, enzymatic and their combinations [1–3]. The use of these methods is primarily aimed at increasing the yield of biologically active substances (BAS) from raw material.

One of the simplest and most effective methods of increasing the yield of BAS from raw material is its grinding, which leads to an increase in the interface between the solid and liquid phases and a greater yield of the target product during extraction [4]. For grinding plant raw material, various machines can be used, differing in design, the principle of influencing the source material. In a disc (knife) mill, grinding occurs due to cutting when shear deformations emerge. A distinctive feature of the force action on the fiber during grinding in knife mills is the presence of mainly squeezing and shear forces. Along with these components, tensile and shear forces act on the fibers, while chemical changes in the source

ходит за счет резания при возникновении сдвиговых деформаций. Отличительной особенностью силового воздействия на волокно при измельчении в ножевых машинах является наличие преимущественно сдавливающего и сдвигового усилий. Наряду с указанными составляющими на волокна действуют растягивающие и срезающие усилия, при этом химических изменений в исходном материале обычно не происходит [5]. В кольцевых мельницах измельчаемый материал прижимается вращающимися вальцами (шарами) к неподвижному или вращающемуся кольцевому вкладышу, и измельчение происходит путем раздавливания и истирания материала под действием силы веса размаляющих тел (вальцов или шаров), силы натяжения пружин или центробежных сил. Шаровые мельницы относят по принципу действия к машинам со стесненным ударом, т.е. диспергирование растительного сырья происходит под действием мелющих тел при раздавливании, истирании и ударе [6].

Одним из перспективных для внедрения в медицину видов растительного сырья является береста, скапливающаяся на лесосеках после рубки и на деревообрабатывающих предприятиях в результате окорки древесины и не имеющая промышленного применения [7]. Береста содержит ценные биологически активные вещества: тритерпеновые сапонины, дубильные вещества, флавоноиды, кумарины, терпеноиды и др. [8–10]. Поскольку бетулины и экстракты, полученные из бересты, проявляют широкий спектр биологической активности [10–12], исследования ряда отечественных и зарубежных ученых направлены на поиск путей увеличения выхода БАВ из бересты [2, 7, 13], что подчеркивает актуальность данного исследования.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить зависимость выхода биологически активных веществ из бересты от методов ее измельчения на дисковой, трехвалковой кольцевой и шаровой мельницах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами для исследования служили образцы бересты (внешней части коры) березы повислой (*Betula pendula* Roth.) и березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) семейства березовые (Betulaceae), измельченные на дисковой (ножевой) мельнице (образец № 1), на шаровой мельнице (образец № 2) и на трехвалковой кольцевой мельнице (образец № 3).

material usually do not occur [5]. In ring mills, the ground up material is pressed by rotating rollers (balls) to a stationary or rotating ring liner, and grinding occurs by crushing and abrasion of the material under the influence of the weight of the grinding bodies (rollers or balls), the tension force of springs or centrifugal forces. Ball mills are referred by the principle of operation to machines with a constrained impact, i.e., the dispersion of plant raw material occurs under the action of grinding bodies during crushing, abrasion and impact [6].

One of the most promising types of plant raw material for the introduction into medicine is birch bark, which accumulates in logging areas after logging and at woodworking enterprises as a result of debarking wood and has no industrial application [7]. Birch bark contains valuable BAS: triterpenoid saponins, tannins, flavonoids, coumarins, terpenoids, etc. [8–10]. Since betulins and extracts obtained from birch bark exhibit a wide range of biological activity [10–12], the research of a number of domestic and foreign scientists is aimed at finding ways to increase the yield of BAS from birch bark [2, 7, 13], which emphasizes the relevance of this study.

AIM OF THE RESEARCH

To study the dependence of the yield of BAS from birch bark on the methods of its grinding in disk, three-roll ring and ball mills.

MATERIALS AND METHODS

The objects for the study were samples of birch bark (the outer part of the bark) of silver birch (*Betula pendula* Roth.) and downy birch (*Betula pubescens* Ehrh.) of the birch family (Betulaceae), ground up in a disc (knife) mill (sample 1), in a ball mill (sample 2) and in a three-roll ring mill (sample 3).

The birch bark was ground up in a ball mill using a centrifugal type activator, the AGO-2 mill. Steel balls with a diameter of 6 mm were used as grinding bodies, the loading of the balls was 200 g per 10 g of the processed plant material, the calculated acceleration of the grinding bodies was 200–600 m/s, the calculated processing intensity was 1 W/g, the processing time was 30 min. Conditions for grinding birch bark using a three-roll ring mill: rotation speed was 900 rpm, temperature was 27–28°C, pressure was 40 Hz, productivity was 1 kg of raw material per hour. Birch bark was ground up on ball and three-roll ring mills in the laboratory of the Institute of Solid State Chemistry and Mechanochem-

Измельчение бересты на шаровой мельнице проведено с использованием активатора центробежного типа — мельницы АГО-2. В качестве мелющих тел использовались стальные шары диаметром 6 мм, загрузка шаров — 200 г на 10 г обрабатываемого вещества, расчетное ускорение мелющих тел — 200–600 м/с, расчетная интенсивность обработки — 1 Вт/г, время обработки — 30 мин. Условия измельчения бересты с использованием трехвалковой кольцевой мельницы: скорость вращения — 900 об./мин, температура — 27–28 °С, давление — 40 Гц, производительность — 1 кг сырья/ч. Измельчение бересты на шаровой и трехвалковой кольцевой мельницах проводили в лаборатории Института химии твердого тела и механохимии СО РАН (Академгородок, г. Новосибирск), на дисковой мельнице — на мельнице «Эксцельсиор», широко применяемой в фармацевтическом производстве. Основной деталью данной мельницы являются два вертикально установленных диска, один из которых вращается со скоростью 250–300 об./мин. Поверхность дисков покрыта мелкими зубцами, расположенными по окружности таким образом, чтобы зубцы движущегося диска попадали в промежутки между зубцами неподвижного диска. Производительность при диаметре дисков 400 мм — до 50 кг/ч.

Описание внешних признаков, морфологические и микроскопические исследования, определение экстрактивных веществ (метод 2), влажности проводили в соответствии с Государственной фармакопеей (ГФ) XIV [14].

Микроскопические исследования проводили на микроскопе проходящего и отраженного света Axioskop 2 plus (Zeiss), цифровая камера AxioCam HRc (Zeiss), программное обеспечение AxioVision (Zeiss). Отдельные фрагменты исследований выполнены на люминесцентном микроскопе SteREO Lumar.V12 (Zeiss), цифровая камера CoolSNAP fx с программным обеспечением WinView 32 (Roper Scientific) и на конфокальном сканирующем лазерном микроскопе LSM-510 Meta (Zeiss) при увеличении до 600 раз в проходящем свете в Институте цитологии и генетики СО РАН (Академгородок, г. Новосибирск).

Анализ компонентного состава, количественного содержания БАВ проведен с помощью фармакопейных методик в соответствии с ГФ XIV [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный визуальный анализ образцов бересты, измельченных на дисковой мельнице (образец № 1), шаровой мельнице (образец № 2) и трехвалковой кольцевой мельнице (образец

istry (Akademgorodok, Novosibirsk), on a disk mill — on the Excelsior mill, widely used in pharmaceutical production. The main part of this mill is two vertically mounted disks, one of which rotates at a speed of 250–300 rpm. The surface of the disks is covered with small teeth arranged around the circumference so that the teeth of the moving disk fall into the gaps between the teeth of the stationary disk. Productivity with a disk diameter of 400 mm was up to 50 kg/h.

Description of external signs, morphological and microscopic studies, determination of extractive substances (method 2), humidity were carried out in accordance with State Pharmacopoeia of Russia [14].

Microscopic studies were carried out on the Axioskop 2 plus (Zeiss) transmitted and reflected light microscope, the AxioCam HRc digital camera (Zeiss), the AxioVision software (Zeiss). Individual fragments of the studies were performed on the SteREO Lumar.V12 luminescent microscope (Zeiss), the CoolSNAP fx digital camera with the WinView 32 software (Roper Scientific) and on the confocal scanning laser microscope LSM-510 Meta (Zeiss) at magnification up to 600 times in transmitted light at the Institute of Cytology and Genetics (Akademgorodok, Novosibirsk).

The analysis of the component's composition, the quantitative content of BAS was carried out using pharmacopoeial methods in accordance with the State Pharmacopoeia of Russia [14].

RESULTS AND DISCUSSION

A comparative visual analysis of birch bark samples ground up in a disc mill (sample 1), a ball mill (sample 2) and a three-roll ring mill (sample 3) showed the influence of mechanical pretreatment of raw material on morphological characteristics: birch bark sample 1 is a mixture of pieces of birch bark of various shapes, with a predominance of the fraction passing through a sieve with holes in a diameter of 3 mm. The color of the pieces ranges from white, light beige to beige-brown. The odor is faint, the taste is peculiar, slightly astringent. Birch bark sample 2 is a dense dark brown powder with a predominance of a fraction with a particle size of 0.3 mm, with a faint odor and a bitter astringent taste. Birch bark sample 3 is a dense brown powder with a whitish hue, with a predominance of a fraction with a particle size of 0.3 mm, with a faint odor and a bitter astringent taste (Fig. 1).

Microscopic examination of ground up birch bark samples revealed that the cell structure was not dis-

№ 3), показал влияние механической предобработки сырья на морфологические признаки: образец бересты № 1 представляет собой смесь кусочков бересты различной формы, с преобладанием фракции, проходящей сквозь сито с отверстиями диаметром 3 мм. Цвет кусочков от белого, светло-бежевого до бежево-коричневого. Запах слабый, вкус своеобразный, слегка вяжущий. Образец бересты № 2 представляет собой плотный темно-коричневый порошок с преобладанием фракции с размером частиц 0.3 мм, со слабым запахом и горьковатым вяжущим вкусом. Образец бересты № 3 — плотный коричневый порошок с белесым оттенком, с преобладанием фракции с размером частиц 0.3 мм, со слабым запахом и горьковатым вяжущим вкусом (рис. 1).

При микроскопическом исследовании измельченных образцов бересты было установлено, что в образце № 1 клеточная структура не нарушена: на продольном срезе бересты наблюдаются прозенхимные клетки с заостренными концами и утолщенными стенками (рис. 2, А). В УФ-свете отмечается собственное свечение клеточных стенок, что объясняется присутствием в них веществ фенольной природы (полифенольные соединения) (рис. 2, В, С). В образцах № 2 и 3 при световой микроскопии наблюдаются бесформенные фрагменты материи, что свидетельствует о разрушении стенок клеток (рис. 2, D, G). При наблюдении тех же препаратов в УФ-свете установлено, что светятся не только фрагменты клеточных стенок (рис. 2, F, I), но и включающая их жидкость (рис. 2, E, H), что говорит о том, что фе-

turbed in sample 1: prosenchymatous cells with pointed ends and thickened walls were observed on the longitudinal section of birch bark (Fig. 2, A). In UV light, the cell wall's luminescence is noted, which is explained by the presence of substances of a phenolic nature (polyphenolic compounds) in them (Fig. 2, B, C). In samples 2 and 3, shapeless fragments of matter are observed under light microscopy, which indicates the destruction of the cell walls (Fig. 2, D, G). When observing the same preparations in UV light, it was found that not only fragments of the cell walls glow (Fig. 2, F, I), but also the liquid that includes them (Fig. 2, E, H), which indicates that phenolic compounds are washed out of the destroyed cell walls.

The moisture content in the birch bark samples does not exceed 3%: for sample 1, it is $2.65 \pm 0.05\%$, for sample 2 it is $2.10 \pm 0.04\%$, for sample 3 it is $2.70 \pm 0.07\%$.

In the comparative analysis of the content of extractive substances in the studied birch bark samples, a number of extractants were used as solvent: purified water and ethyl alcohol of various concentrations (96, 80, 70, 40, 20 and 10%). A comparative analysis of the yield of extractive substances, depending on the extractant used, showed that 80% ethyl alcohol is the best for all the studied samples. The content of extractive substances for sample 1 is 29.96%, for sample 2 is 36.85%, for sample 3 is 30.88%. The highest yield of extractive substances was established for a sample of birch bark ground up in a ball mill (sample 2) (Fig. 3).

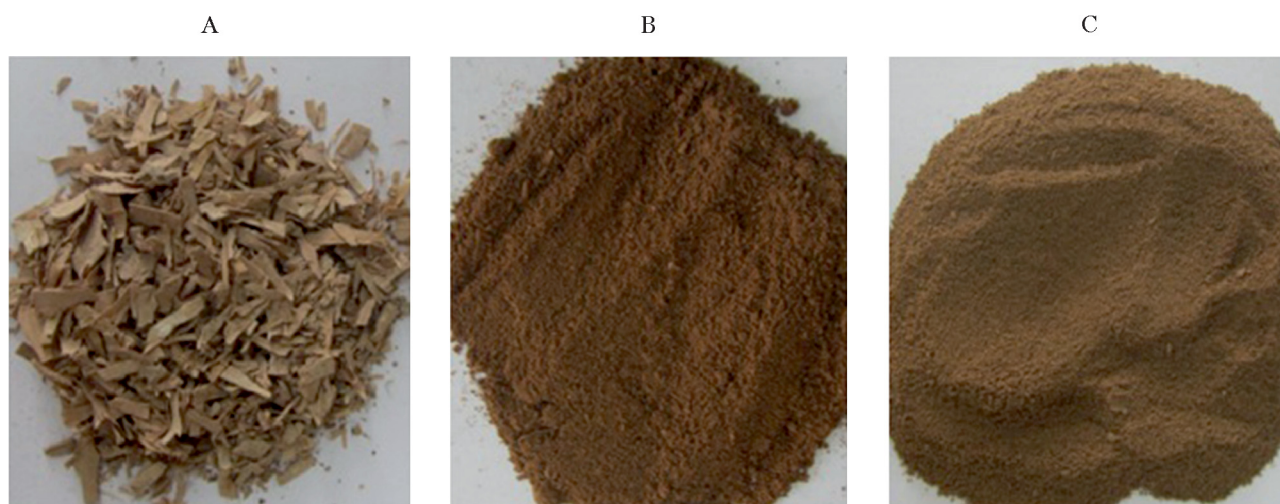


Рис. 1. Влияние методов измельчения на морфологическую структуру образцов бересты: А — образец № 1, измельченный на дисковой мельнице; В — образец № 2, измельченный на шаровой мельнице; С — образец № 3, измельченный на трехвалковой кольцевой мельнице

Fig. 1. The influence of grinding methods on morphological structure of birch bark samples: A — sample 1, ground up in a disc mill; B — sample 2, ground up in a ball mill; C — sample 3, ground up in a three-roll ring mill

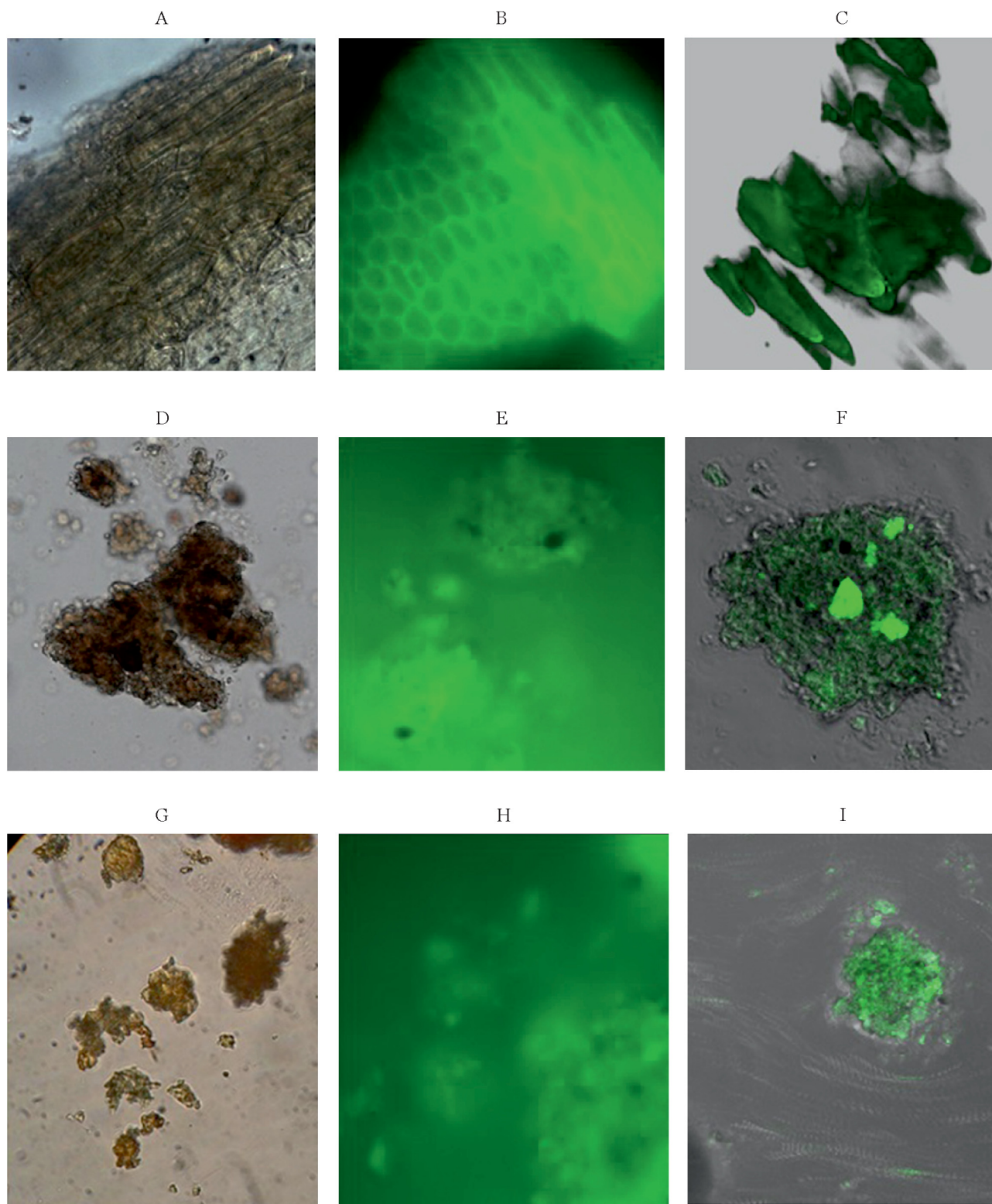


Рис. 2. Фрагменты микроскопической структуры образцов бересты. Образец № 1 (А, В, С), образец № 2 (D, E, F), образец № 3 (G, H, I) (А, D, G – световой микроскоп; В, E, H – люминесцентный микроскоп; С, F, I – конфокальный сканирующий лазерный микроскоп). А, В, D–I – увеличение $\times 400$, С – $\times 600$

Fig. 2. Fragments of the microscopic structure of birch bark samples. Sample 1 (A, B, C), sample 2 (D, E, F), sample 3 (G, H, I) (A, D, G – light microscope; B, E, H – fluorescent microscope; C, F, I – confocal scanning laser microscope). A, B, D–I – magnification $\times 400$, C – magnification $\times 600$

нольные соединения вымываются из разрушенных клеточных стенок.

Содержание влаги в исследуемых образцах бересты не превышает 3 %: для образца № 1 оно составляет 2.65 ± 0.05 %, для образца № 2 — 2.10 ± 0.04 %, для образца № 3 — 2.70 ± 0.07 %.

При сравнительном анализе содержания экстрактивных веществ в исследуемых образцах бересты в качестве экстрагентов использовали ряд растворителей: воду очищенную и спирт этиловый различной концентрации (96, 80, 70, 40, 20 и 10 %). Сравнительный анализ выхода экстрактивных веществ в зависимости от используемого экстрагента показал, что наилучшим для всех исследуемых образцов является 80% спирт этиловый. Содержание экстрактивных веществ для образца № 1 — 29.96 %, для образца № 2 — 36.85 %, для образца № 3 — 30.88 %. Наибольший выход экстрактивных веществ установлен для образца бересты, измельченного в шаровой мельнице (образец № 2) (рис. 3).

При проведении общего фитохимического анализа в исследуемых образцах бересты установлено присутствие тритерпеновых сапонинов, гидроксикоричных кислот, кумаринов, дубильных веществ (преимущественно гидролизуемой группы). По составу основных групп БАВ исследуемые образцы бересты не различались.

Сравнительный анализ влияния методов измельчения бересты на выход БАВ из нее выявил,

During the general phytochemical analysis, the presence of triterpene saponins, hydroxycinnamic acids, coumarins, tannins (mainly of the hydrolyzable group) was found in the studied birch bark samples. The studied birch bark samples did not differ in the composition of the main groups of BAS.

A comparative analysis of the effect of birch bark grinding methods on the yield of BAS from it revealed that the smallest amount of BAS is extracted from birch bark samples ground up on a disc (knife) mill, the largest — from samples ground up a ball mill, and samples ground up on a three-roll disc mill occupy an intermediate position (Fig. 4). Microscopic studies of ground up birch bark samples showed that particles of raw material of sample 1 passing through a sieve with a hole diameter of 1 mm or less retain their cellular structure (see Fig. 2, A). It is known that the extraction of plant objects (birch bark in particular) in order to isolate BAS is a mass-exchange process complicated by the capillary-porous structure of objects, and the yield of bioactive agents is directly dependent on the particle size of the raw material [4]. The cellular structure of samples 2 and 3 is broken (Fig. 2, D, G), which explains the greater yield of BAS from them (see Fig. 4).

The highest yield of BAS was noted for birch bark samples ground up in a ball mill. When grinding plant material in ball mills — under conditions of intensive mechanochemical action (crushing, abrasion

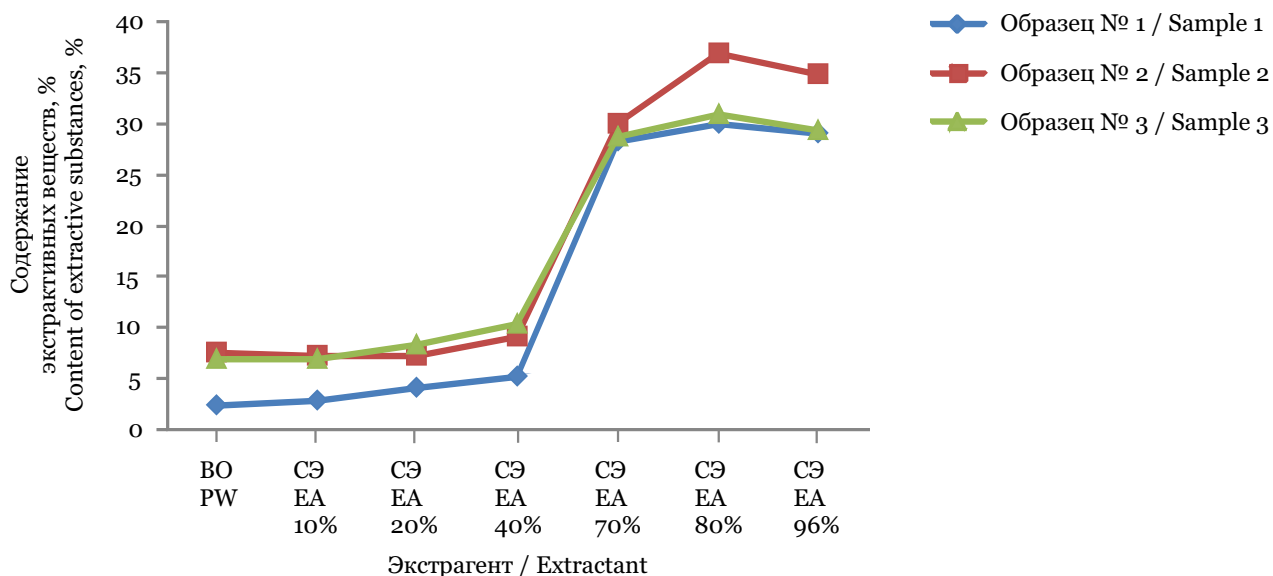


Рис. 3. Динамика содержания экстрактивных веществ в образцах бересты в зависимости от методов ее измельчения и используемого экстрагента (в %, в пересчете на абсолютно-сухое сырье; ВО — вода очищенная; СЭ — спирт этиловый)

Fig. 3. Dynamics of the content of extractive substances in birch bark samples depending on the grinding methods and the extractant used (% , in terms of absolutely dry raw material; PW — purified water; EA — ethyl alcohol)

что наименьшее количество БАВ извлекается из образцов бересты, измельченных на дисковой (ножевой) мельнице, наибольшее — из образцов, измельченных на шаровой мельнице, а образцы, измельченные на трехвалковой дисковой мельнице, занимают промежуточное положение (рис. 4). Микроскопические исследования измельченных образцов бересты показали, что частицы сырья образца № 1, проходящие сквозь сито с диаметром отверстий 1 мм и менее, сохраняют свою клеточную структуру (см. рис. 2, А). Известно, что экстрагирование растительных объектов (бересты в частности) с целью выделения БАВ является мас-

and impact) — high rates of load changes on the raw plant material are realized, while the structure and texture of the material undergoes radical changes — the cell walls of not only parenchymal cells, but also cells of mechanical tissues are destroyed. Changes are observed not only in the anatomical and morphological structure of the ground up plant material, but also in the structure of polymer compounds (polyphenolic substances). There is an increase in excess free energy, a break of intermolecular bonds that stabilize the supramolecular structure, a change in the valence angles and intermolecular distances of polymer chains, a weakening of crystallinity (mechano-

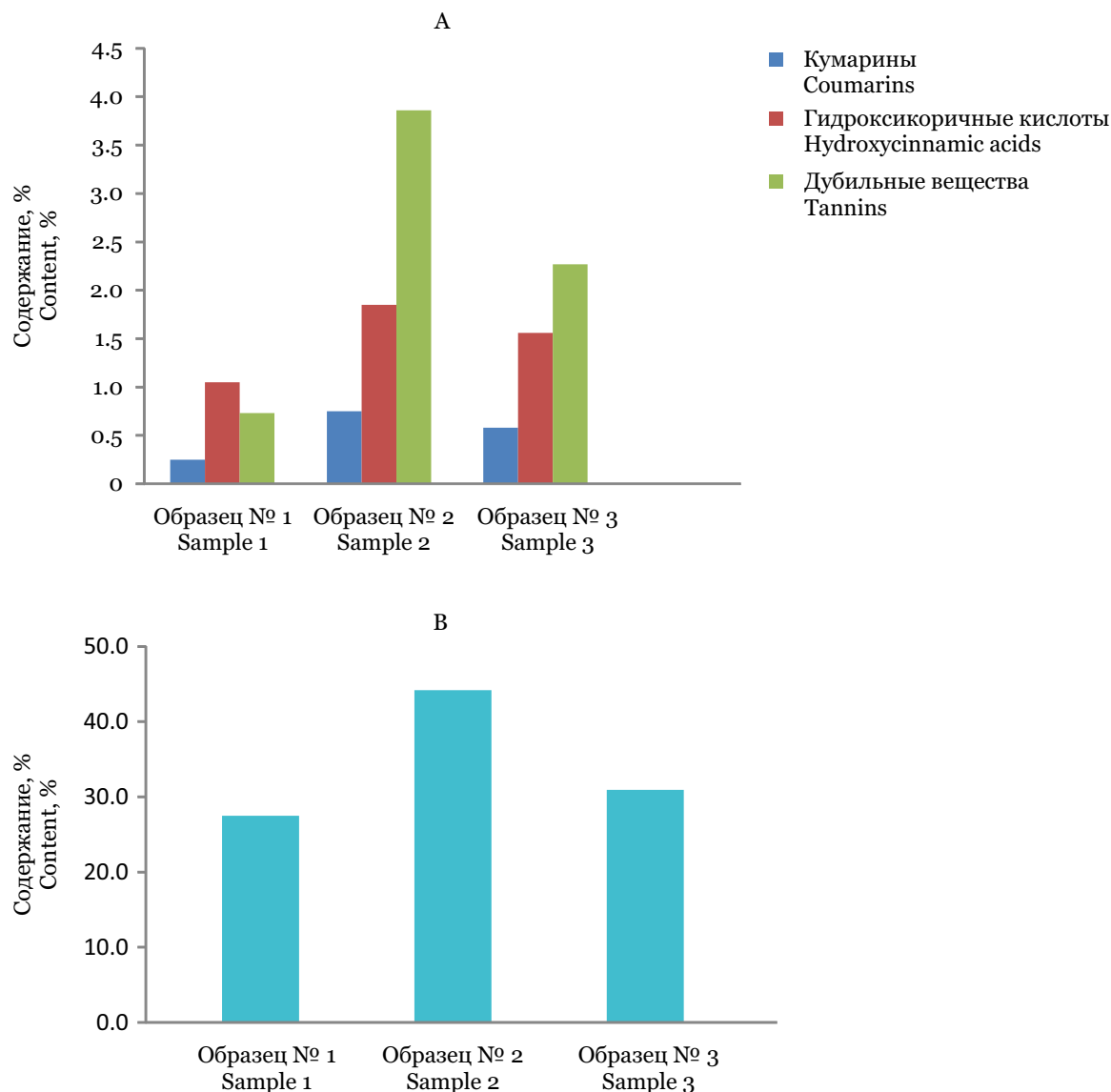


Рис. 4. Динамика содержания основных групп биологически активных веществ в образцах бересты в зависимости от методов ее измельчения (в %, в пересчете на абсолютно-сухое сырье):

А — кумарины, гидроксикоричные кислоты и дубильные вещества; В — тритерпеновые сапонины

Fig. 4. Dynamics of the content of the main groups of BAS in birch bark samples, depending on the grinding methods (% , in terms of absolutely dry raw material): А — coumarins, hydroxycinnamic acids and tannins; В — triterpene saponins

сообменным процессом, осложненным капиллярно-пористой структурой объектов, и выход БАВ находится в прямой зависимости от размера частиц сырья [4]. Клеточная структура образцов № 2 и 3 нарушена (рис. 2, D, G), что и объясняет больший выход из них БАВ (см. рис. 4).

Наибольший выход БАВ отмечен для образцов бересты, измельченных на шаровой мельнице. При измельчении растительного материала в шаровых мельницах — в условиях интенсивного механохимического воздействия (раздавливания, истирания и удара) — реализуются большие скорости изменения нагрузки на исходное растительное сырье, при этом структура и текстура материала претерпевает радикальные изменения — разрушаются клеточные стенки не только паренхимных клеток, но и клеток механических тканей. Изменения наблюдаются не только в анатомо-морфологическом строении измельчаемого растительного материала, но и в структуре полимерных соединений (полифенольных окисляемых веществ). Происходит увеличение избыточной свободной энергии, разрыв межмолекулярных связей, стабилизирующих надмолекулярную структуру, изменение валентных углов и межмолекулярных расстояний полимерных цепей, ослабление кристалличности (механохимическая дезинтеграция) [2, 15]. Этими структурными и химическими изменениями и объясняется больший выход экстрактивных веществ и БАВ из образца № 2, так как при экстрагировании извлекаются не только свободные и низкомолекулярные природные соединения, но и полимерные и ранее связанные БАВ.

В случае измельчения образцов на трехвалковой кольцевой мельнице на бересту в основном воздействуют усилия раздавливания и истирания, т.е. происходит более «мягкая обработка» материала, если сравнивать с измельчением в шаровой мельнице, однако при этом клеточная структура образца утрачивается, что также влечет повышение выхода экстрактивных веществ и БАВ при экстрагировании (см. рис. 3, 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования свидетельствуют о значительном влиянии методов измельчения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голязимова О.В., Политов А.А., Ломовский О.И. Увеличение эффективности измельчения лигноцеллюлозного растительного сырья с помощью химической обработки // Химия растительного сырья. 2009. № 2. С. 53–57.

chemical disintegration) [2, 15]. These structural and chemical changes explain the greater yield of extractive substances and BAS from sample 2, since during extraction not only free and low-molecular-weight natural compounds are extracted, but also polymer and previously bound BAS.

In the case of grinding samples on a three-roll ring mill, the birch bark is mainly affected by crushing and abrasion forces, i.e., there is a more “soft processing” of the material, if compared with grinding in a ball mill, but the cellular structure of the sample is lost, which also leads to an increase in the yield of extractive substances and BAS during extraction (see Fig. 3, 4).

CONCLUSION

The conducted studies indicate a significant influence of grinding methods of birch bark on the yield of BAS from it during further extraction. When using grinding methods that do not lead to the destruction of cell walls, the yield of BAS is limited by the capillary-porous structure of birch bark. When using grinding methods that cause the destruction of cell walls, the greatest yield of BAS from birch bark is observed in the case of using a more severe influence on it, including not only the forces of abrasion, crushing, but also impact.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

бересты на выход БАВ из нее при дальнейшем экстрагировании. При использовании методов измельчения, не приводящих к разрушению клеточных стенок, выход БАВ лимитируется капиллярно-пористой структурой бересты. При использовании методов измельчения, вызывающих разрушение клеточных стенок, наибольший выход БАВ из бересты наблюдается в случае использования более жесткого воздействия на нее, включающего не только усилия истирания, раздавливания, но и удара.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Golyazimova O.V., Politov A.A., Lomovskiy O.I. (2009). Increasing the efficiency of grinding lignocellulose plant raw material by chemical processing. *Chemistry of Plant Raw Materials*, 2, 53–57. In Russ.

2. Бычков А.Л., Ломовский О.И. Современные достижения в механоферментативной переработке растительного сырья // Химия растительного сырья. 2017. № 2. С. 35–47.
3. Кузнецова О.Ю., Абдуллин И.Ш., Шаехов М.Ф., Зиятдинова Г.К., Будников Г.К. Оптимизация предварительной обработки лекарственного сырья ВЧЕ-плазмой перед экстракцией // Уч. зап. Казанск. унта. Серия: Естественные науки. 2016. Т. 158, кн. 2. С. 197–206.
4. Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А., Третьяков С.И. Исследование кинетики массопереноса в процессе экстрагирования бересты // Лесной журнал. 2013. № 4. С. 119–128.
5. Алашкевич Ю.Д., Ковалев В.И. Размалывающая гарнитура для дисковой мельницы: Патент РФ № 2 649 145. Патентообладатель СибГУ им. М.Ф. Решетнева. 2018. Бюл. № 10. 8 с.
6. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Альянс, 2004. 751 с.
7. Кузнецов Б.Н., Кузнецова С.А., Левданский В.А., Судакова И.Г., Веселова О.Ф. Совершенствование методов выделения, изучения состава и свойств экстрактов березовой коры // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. Т. 13, № 3. С. 391–400.
8. Абышев А.З., Агаев Э.М., Гусейнов А.Б. Исследование химического состава экстракта коры березы *cortex Betula* сем. Betulaceae // Хим.-фармацевт. журн. 2007. Т. 41, № 8. С. 22–26.
9. Кислицын А.Н. Экстрактивные вещества бересты: выделение, состав, свойства, применение // Химия древесины. 1994. № 3. С. 3–28.
10. Лигостаева Ю.В. Фармакогностическое исследование бересты и перспективы ее использования в медицине: дис. ... канд. фармацевт. наук. Самара, 2015. 201 с.
11. Кузнецова С.А., Скворцова Г.П., Маляр Ю.Н., Скурыдина Е.С., Веселова О.Ф. Выделение бетулина из бересты березы и изучение его физико-химических и фармакологических свойств // Химия растительного сырья. 2013. № 2. С. 93–100.
12. Лаврова Л.Ю., Якутова И.А., Усов Г.А. Механоактивированные органопорошки — биокорректоры питания // Интеграция науки, образования и производства — стратегия развития инновационной экономики: материалы I междунар. науч.-практ. конф. (г. Екатеринбург, 2011). Екатеринбург: Изд-во Уральск. гос. эконом. ун-та, 2011. Ч. 1. С. 167–169.
13. Paže A., Zandersons J., Rižikovs J. et al. Apparatus and selective solvents for extraction of triterpenes from silver birch (*Betula pendula* Roth.) outer bark // Baltic Forestry. 2014. Vol. 20 (1). P. 88–97.
14. Государственная фармакопея Российской Федерации. 14-е изд. 2018. Т. 2. URL: www.femb.ru/femb/pharmacopea.php. Дата обращения: 19.05.2021.
15. Ошкордин О.В., Лаврова Л.Ю., Усов Г.А. Кинетика и динамика измельчения растительного сырья для производства пищевых продуктов // Ползуновский вестн. 2011. № 2/2. С. 202–206.
2. Bychkov A.L., Lomovskiy O.I. (2017). Current achievements in the mechano-enzymatic processing of plant raw material. *Chemistry of Plant Raw Materials*, 2, 35–47. In Russ.
3. Kuznetsova O.Yu., Abdullin I.Sh., Shaekhov M.F., Ziyatdinova G.K., Budnikov G.K. (2016). Optimizing pretreatment of medicinal plant raw material by radio-frequency plasma before extraction. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta*, 158, 2, 197–206. In Russ.
4. Koptelova E.N., Kutakova N.A., Tretyakov S.I. (2013). Study of mass transfer kinetics during birch bark extraction. *Russ. Forestry Journal*, 4, 119–128.
5. Alashkevich Yu.D., Kovalev V.I. (2018). Grinding set for disc mill: Patent RF No. 2649145. Patent holder of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Bull. 10. 8 p. In Russ.
6. Kasatkin A.G. (2004). *The Main Processes and Apparatuses of Chemical Technology*. Moscow: Alliance, 751 p.
7. Kuznetsov B.N., Kuznetsova S.A., Levdansky V.A., Sudakova I.G., Veselova O.F. (2005). Improvement of extraction methods and studying the composition and properties of birch bark extracts. *Chemistry for Sustainable Development*, 13, 3, 391–400.
8. Abyshev A.Z., Agaev E.M., Huseynov A.B. (2007). Study of the chemical composition of birch bark extract *cortex Betula* fam. Betulaceae. *Khimico-Farmatsevticheskii Zhurnal*, 41, 8, 22–26. In Russ.
9. Kislitsyn A.N. (1994). Extractive substances of birch bark: extraction, composition, properties, application. *Wood Chemistry*, 3, 3–28. In Russ.
10. Ligostaeva Yu.V. (2015). *Pharmacognostic study of birch bark and prospects for its use in medicine*. Cand. Sci. (Pharmaceut.) dissertation. Samara, 201 p. In Russ.
11. Kuznetsova S.A., Skvortsova G.P., Maliar Yu.N., Skurydina E.S., Veselova O.F. (2013). Extraction betulin from birch bark and study of its physicochemical and pharmacological properties. *Chemistry of Plant Raw Materials*, 2, 93–100. In Russ.
12. Lavrova L.Yu., Yakutova I.A., Usov G.A. (2011). Mechano-activated organic powders — biocorrectors of nutrition. Integration of Science, Education and Production — Strategy for the Development of An Innovative Economy: Materials of the I International Scientific and Practical Conference. Yekaterinburg: Ural State Economical University Publishing, 1, 167–169. In Russ.
13. Paže A., Zandersons J., Rižikovs J. et al. (2014). Apparatus and selective solvents for extraction of triterpenes from silver birch (*Betula pendula* Roth.) outer bark. *Baltic Forestry*, 20 (1), 88–97. In Russ.
14. *State Pharmacopoeia of the Russian Federation*. (2018). 14th ed., 2. Retrieved on May 19, 2021 from www.femb.ru/femb/pharmacopea.php.
15. Oshkordin O.V., Lavrova L.Yu., Usov G.A. (2011). Kinetics and dynamics of grinding plant raw material for food production. *Polzunovskiy Vestnik*, 2/2, 202–206. In Russ.

ABOUT THE AUTHORS

Ligostaeva Yulya Valeryevna — Cand. Sci. (Pharmaceut.), Assistant Professor, Department of Pharmacognosy and Botany, Novosibirsk State Medical University.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лигостаева Юлия Валерьевна — канд. фармацевт. наук, доцент кафедры фармакогнозии и ботаники

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России.

Ханина Миниса Абдуллаевна — д-р фармацевт. наук, заведующий кафедрой химии ГОУ ВО МО «Государственный гуманитарно-технологический университет» (Орехово-Зуево).

Грек Олег Рувимович — д-р мед. наук, профессор кафедры фармакологии, клинической фармакологии и доказательной медицины ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России.

Родин Анатолий Петрович — канд. мед. наук, доцент кафедры фармакологии и фармацевтических дисциплин ГОУ ВО МО «Государственный гуманитарно-технологический университет» (Орехово-Зуево).

Образец цитирования: Лигостаева Ю.В., Ханина М.А., Грек О.Р., Родин А.П. Влияние методов измельчения бересты на выход биологически активных веществ // Journal of Siberian Medical Sciences. 2021. № 3. С. 14–24.

Khanina Minisa Abdullayevna — Dr. Sci. (Pharmaceut.), Head, Department of Chemistry, State University of Humanities and Technology (Orekhovo-Zuevo).

Grek Oleg Ruvimovich — Dr. Sci. (Med.), Professor, Department of Pharmacology, Clinical Pharmacology and Evidence-based Medicine, Novosibirsk State Medical University.

Rodin Anatoly Petrovich — Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Pharmacology and Pharmaceutical Disciplines, State University of Humanities and Technology (Orekhovo-Zuevo).

Citation example: Ligostaeva Yu.V., Khanina M.A., Grek O.R., Rodin A.P. (2021). Influence of grinding methods of birch bark on the yield of biologically active substances. *Journal of Siberian Medical Sciences*, 3, 14–24.

