

## Применение высоковлажной дисперсной фракции топинамбура, образуемой при его переработке на спирт, в технологии пищевой экструзии

© 2023. А. Ю. Шариков, М. В. Туршатов, М. В. Амелякина<sup>✉</sup>,  
А. О. Соловьев, И. М. Абрамова

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», г. Москва, Российская Федерация

*Химический состав и агротехнические характеристики топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) определяют широкие перспективы его использования в различных отраслях перерабатывающей промышленности, в том числе в пищевой биотехнологии. Целью исследования являлись изучение возможности применения продуктов переработки топинамбура, отобранных на различных стадиях спиртового производства, в нативной форме без дополнительной сушки в технологии экструдированных продуктов и оценка влияния этапа отбора сырья на режимы экструзии и показатели качества готового продукта. В процессе экспериментальной работы проводили переработку клубней топинамбура на спирт, с разных стадий процесса отбирали образцы высоковлажной дисперсной фракции топинамбура, которые вносили в количестве 15 % без предварительной подсушки в смеси для экструдирования на основе рисовой крупы. Полученные экструдаты подсушивали и определяли их структурно-механические, цветовые характеристики и пищевую ценность. Контрольным являлся образец без внесения добавок топинамбура. Установлено, что при экструзии опытных образцов по сравнению с контролем показатели коэффициента взрыва и количества микроразломов значительно снижаются, что свидетельствуют о том, что с добавлением фракций топинамбура образцы становятся менее пористыми, снижается их хрусткость. Коэффициент взрыва всех экспериментальных образцов снизился на 42-49 %. Максимальная твердость 22,9 Н, что на 56 % выше значения контроля, отмечена для образца с фракцией, отобранной после стадии брожения. Использование пищевых добавок топинамбура со стадий гидромеханической переработки и после сбразживания, вносимых в количестве 15 % к экструдированной смеси, значимо, на 52-61 %, повышало содержание пищевых волокон. Более перспективным является использование в качестве ингредиента пищевой добавки топинамбура после полного цикла его переработки на спирт, что позволяет обогатить продукт микробиологическим белком биомассы спиртовых дрожжей и повысить общее содержание белка.*

**Ключевые слова:** *Helianthus tuberosus* L., фермент, этанол, комплексная переработка, экструдат, пищевая ценность, структурно-механические свойства

**Благодарности:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-16-00159, <https://rscf.ru/project/22-16-00159/>

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Шариков А. Ю., Туршатов М. В., Амелякина М. В., Соловьев А. О., Абрамова И. М. Применение высоковлажной дисперсной фракции топинамбура, образуемой при его переработке на спирт, в технологии пищевой экструзии. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(4):612-622. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.612-622>

Поступила: 30.01.2023

Принята к публикации: 02.08.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

## The use of high humidity disperse fraction of jerusalem artichoke developed by its processing into alcohol in the food extrusion technology

© 2023. Anton Yu. Sharikov, Mikhail V. Turshatov, Maria V. Amelyakina<sup>✉</sup>,  
Alexander O. Solovyev, Irina M. Abramova

All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation

*The chemical composition and agrotechnical characteristics of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) determine the wide prospects for its use in various branches of the processing industry, including food biotechnology. The aim of the study was to determine the possibility to use Jerusalem artichoke processed products from various stages of alcohol production in native form without drying in the technology of extruded products and to assess the impact of the raw material selection stage on extrusion modes and quality indicators of the finished product. In the course of the experimental work, Jerusalem artichoke tubers were processed into alcohol, samples of the high-moisture dispersed fraction of Jerusalem artichoke were taken from different stages of the process. These fractions were added in an amount of 15 % without pre-drying into the mixture for extrusion based on rice groats. The obtained extrudates were dried and their structural-mechanical, color characteristics and nutritional value were determined. The control sample was without the addition of Jerusalem artichoke additives. It has been established that during the*

*extrusion of test samples, compared with the control, the expansion index and the number of microfractures significantly decrease. These data show that with the addition of Jerusalem artichoke fractions, the samples become less porous, their crispness decreases. The expansion index of all experimental samples decreased by 42-49 %. The maximum hardness of 22.9 N, which is 56 % higher than the control value, was noted for a sample with a fraction taken after the fermentation stage. The use of food additives of Jerusalem artichoke from the stages of hydromechanical processing and after fermentation, added in the amount of 15 % to the mixture for extrusion, significantly, by 52-61 %, increased the content of dietary fiber. More promising is the use of Jerusalem artichoke as an ingredient after a full cycle of its processing into alcohol, which makes it possible to enrich the product with microbiological protein of alcohol yeast biomass and increase the total protein content.*

**Keywords:** *Helianthus tuberosus* L., enzyme, ethanol, comprehensive processing, extrudate, nutritional value, structural and mechanical properties

**Acknowledgements:** the study was supported by the Russian Science Foundation Grant No. 22-16-00159, <https://rscf.ru/project/22-16-00159/>

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**Conflict of interest:** the authors declared no conflict of interest.

**For citation:** Sharikov A. Yu., Turshatov M. V., Amelyakina M. V., Solovyev A. O., Abramova I. M. The use of high humidity disperse fraction of jerusalem artichoke developed by its processing into alcohol in the food extrusion technology. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):612-622. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.612-622>

Received: 30.01.2023 Accepted for publication: 02.08.2023 Published online: 30.08.2023

Топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.) является сельскохозяйственной культурой, представляющей устойчивый интерес со стороны нутрициологов, разработчиков пищевой продукции и специалистов АПК вследствие ее химического состава, пищевой ценности и агротехнических характеристик [1, 2, 3]. Высокое содержание инулина, белка, биологических активных и минеральных веществ, антифунгистатические, антиканцерогенные и антиоксидантные компоненты определяют клубни топинамбура как перспективное сырье в производстве лечебного и профилактического питания, а также фармацевтической продукции [4, 5, 6, 7].

В пищевой промышленности отраслевые решения по применению топинамбура в технологии функциональных продуктов востребованы и достаточно разнообразны: в молочной промышленности [8, 9], хлебопекарной [10, 11], мясной [12], производстве безалкогольных напитков [13] и ингредиентов-заменителей жира [9]. Основной интерес в аспекте химического состава топинамбура и его функциональных свойств представляет инулин, фруктан – биополимер фруктозы, молекулы которой связаны  $\beta$ -2,1 гликозидными связями, при этом каждая цепь заканчивается молекулой D-глюкозы, соединенной с полифруктозной цепью  $\alpha$ -2,1-связью. Инулин является пребиотиком с потенциалом стабилизации состава микробиоты кишечника, улучшения работы кишечника, повышения степени абсорбции минералов, снижения риска кишечных инфекций, рака толстой кишки, ожирения, сахарного диабета 2 типа, метаболического синдрома [14, 15].

Помимо широкого применения в качестве ингредиента в пищевой промышленности такие факторы, как высокая урожайность, содержание углеводов и выход целевого продукта, устойчивость к неблагоприятным природным условиям, почвам и вредителям делают топинамбур перспективным субстратом для биоконверсии с получением различных видов продуктов биокатализа или брожения. Биоконверсия топинамбура позволяет получать фруктозные сиропы, фруктоолигосахариды, этанол, 2,3-бутандиол, сорбитол, молочную, масляную, пропионовую, янтарную, яблочную кислоты, продукты ацетонобутилового брожения [16, 17, 18]. Разрабатываемые технические решения по получению этилового спирта из топинамбура обеспечивают высокий выход этанола и конкурентоспособность корнеплода в качестве сырья по отношению к зерновым культурам [17, 19].

Актуальной задачей при разработке комплексных технологий спиртового производства является утилизация вторичных сырьевых ресурсов, образуемых в процессе переработки [20]. Имеются технологические решения по использованию послеспиртовой барды из топинамбура при приготовлении заквасок в производстве ржаного и ржано-пшеничного хлеба [21]. Альтернативным направлением использования послеспиртовой барды топинамбура может стать ее применение в качестве ингредиента при производстве готовых к употреблению продуктов, производимых по экструзионной технологии. Известны исследования по использованию пивной дробины в подобных продуктах в качестве недорогого компонента рецептуры с высокой пищевой ценностью и значительным содержа-

нием пищевых волокон [22]. Важность повышения содержания пищевых волокон в экструдированной продукции (сухих завтраках, снеках) обусловлена ее высоким гликемическим индексом, так как основу рецептуры составляют высокоочищенные продукты переработки зерновых [23]. Поэтому внедрение в технологии экструдированных продуктов недорогих ингредиентов с высоким содержанием пищевых волокон является перспективным направлением повышения пищевой ценности готовой продукции и расширения ее ассортимента.

Как правило, вторичные сырьевые ресурсы процессов биоконверсии перед использованием в технологиях продуктов питания высушиваются [21, 22, 24], что, с одной стороны, облегчает их использование, с другой стороны, увеличивает количество технологических этапов и повышает стоимость ингредиента.

**Цель исследования** – изучение возможности использования продуктов переработки топинамбура спиртового производства, отобранных на различных стадиях биоконверсии, в нативной форме без дополнительной сушки в технологии экструдированных продуктов.

**Таблица 1 – Характеристики используемых ферментных препаратов / Table 1 – Characteristics of the enzyme preparations used**

Ферментный препарат / Enzyme preparation	Производитель / Manufacturer	Активность / Enzymatic activity	Температурный оптимум действия / Temperature optimum of the action	Рабочий диапазон pH / pH working range
Viscoferm	Новозаймс, Дания / Novozymes, Denmark	900 ед. КС/г	30-80 °С	4,5-6,5
Novozym 960	Novozymes, Denmark	250 ед. INU/г	55-60 °С	4,0-6,0

Примечания: КС – ксиланазная способность; INU – каталитическая активность инулиназы / Notes: КС – xylanase activity; INU – catalytic activity of inulinase

Образцы дисперсной фракции топинамбура (ФТ) получали по схеме, представленной на рисунке 1. Очищенные и вымытые клубни топинамбура измельчали в шнековом измельчителе до однородной массы, далее полученную массу смешивали с водой, предварительно нагрев ее до 50 °С и добавив ФП Viscoferm в дозировке 0,25 ед. КС/г сухих веществ (СВ) для гидролиза некрахмалистых полисахаридов. Полученный замес подвергали гидромеханической обработке в лабораторном роторном диспергаторе (ИКА, Германия) в течение 10 минут. Гидролиз проводили при температуре 92 °С

*Научная новизна* – изучено влияние внесения в экструдруемые смеси высоковлажной дисперсной фракции топинамбура различной степени биоконверсии на показатели процесса экструзии и технологические свойства полученных продуктов. Проведена оценка изменения пищевой ценности экструдатов в зависимости от вида используемой в рецептуре дисперсной фракции топинамбура.

**Материал и методы.** Объектами исследований являлись экструдированные продукты, полученные из смесей рисовой крупы с добавлением высоковлажной дисперсной фракции топинамбура, выделенной на разных стадиях переработки его на спирт.

Использовали крупу рисовую (ГОСТ 6292-93)<sup>1</sup>, соль (ГОСТ Р 51574-2018)<sup>2</sup>, карбонат кальция, соответствующий требованиям ТР ТС 029/2012<sup>3</sup>, клубни топинамбура сорта Интерес.

Биоконверсию топинамбура осуществляли с применением ферментных препаратов (ФП) различной субстратной специфичности, характеристики ФП представлены в таблице 1.

в течение 3 часов с последующим осахариванием ФП Novozym 960 при 58 °С в течение 1 часа в дозировке 0,5 ед. INU/г инулинового сырья. Сусло сбраживали сухими спиртовыми дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* (Angel Yeast Co, Китай) при температуре 33-34 °С, в течение 72 часов. Выделение образцов выполняли центрифугированием на лабораторной центрифуге: ФТ №1 – на стадии гидроизмельчения топинамбура, ФТ № 2 – на стадии водно-тепловой и ферментативной обработки топинамбура, ФТ № 3 – после перегонки сброженного субстрата.

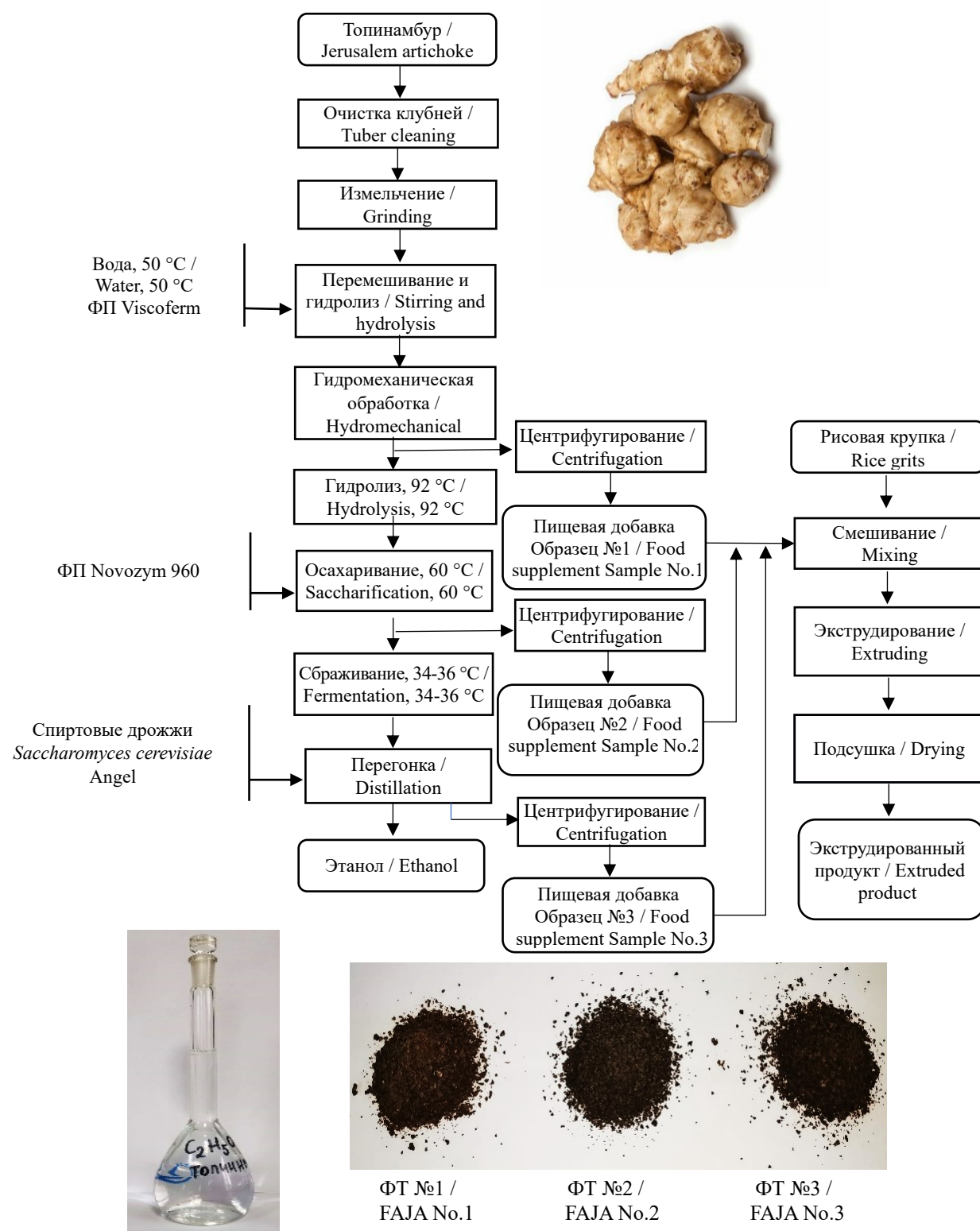
<sup>1</sup>ГОСТ 6292-93. Крупа рисовая. Технические условия. М.: Стандаринформ, 2010. 8 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294823/4294823160.pdf>

<sup>2</sup>ГОСТ Р 51574-2018. Соль пищевая. Общие технические условия. М.: Стандаринформ, 2018. 11 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293737/4293737159.pdf>

<sup>3</sup>ТР ТС 029/2012. Технический регламент Таможенного союза. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств. 2012. 308 с. URL: [https://www.serconsrus.ru/tr\\_ts/trts29.pdf](https://www.serconsrus.ru/tr_ts/trts29.pdf)



**Рис. 1. Схема получения образцов пищевой добавки топинамбура / Fig. 1. Process flow chart for obtaining samples of Jerusalem artichoke food additive**

Содержание влаги в сырье и полученных образцах измеряли на анализаторе влажности ML-50 (A&D, Япония) термографическим

методом. Содержание белка определяли методом Кьельдаля с использованием системы Vadopest 10 (Gerhardt, Германия), жира –

экстракцией с последующим гравиметрическим определением разности массы навески до и после экстракции, пищевых волокон – ферментативно-гравиметрическим методом по ГОСТ Р 54014-2010<sup>4</sup>, золы – по ГОСТ 25555.4-91<sup>5</sup>.

Экспериментальные смеси, включающие 83,5 % рисовой крупы, 15 % высоковлажной дисперсной фракции топинамбура, 0,9 % стабилизатора карбоната кальция, 0,5 % соли, готовили в смесителе UMC 5 с ножевой мешалкой (Stephan, Германия). Контролем служила смесь без включения ФТ.

Смеси экструдировали с использованием двухшнекового экструдера Werner&Phleiderer Continua с диаметром шнека 37 мм, производительность которого составляла 10 кг/час. Для формования стренга экструдата была установлена фильера с двумя отверстиями прямоугольного сечения 12×1,5 мм. Расчет энергетической ценности проводили в соответствии с положениями Технического Регламента Таможенного Союза ТР ТС 022/2012<sup>6</sup>.

Коэффициент взрыва экструдатов рассчитывали по соотношению площадей сечения экструдата и отверстия фильеры. Структурно-механические свойства экструдатов оценивали с использованием анализатора текстуры СТЗ (Brookfield, США) с металлическим цилиндрическим зондом диаметром 3 мм согласно скорректированной методике [22]. Оцениваемыми характеристиками продукта являлись показате-

ли твердости и количества микроразломов, характеризующего хрусткость продукта. Цветовые характеристики экструдата определяли колориметрическим методом с использованием анализатора CS-10 (CS-10 (Hangzhou CHNSpec Technology, Китай) в системе CIELAB, в которой L\* – характеристика светлоты, a\* – коэффициент спектрального отражения в диапазоне от зеленого до красного, b\* – коэффициент спектрального отражения в диапазоне от синего до желтого.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica 6.0 методом однофакторного дисперсионного анализа при уровне значимости 0,05.

**Результаты и их обсуждение.** В процессе экспериментальной работы проводили переработку клубней топинамбура в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1, отбирали образцы дисперсной фракции топинамбура, которые вносили без предварительной подсушки в смеси на основе рисовой крупы в количестве 15 %. Готовые смеси экструдировали, полученные продукты подсушивали и затем определяли их структурно-механические, цветовые характеристики и пищевую ценность.

В таблице 2 представлены данные по химическому составу пищевой добавки топинамбура, отобранной на различных стадиях биоконверсии.

Таблица 2 – Химический состав пищевой добавки топинамбура /  
Table 2 – Chemical composition of food additive (FAJA) from Jerusalem artichoke

Показатель / Parameter	Образец ФТ / FAJA		
	№1 / No. 1	№2 / No.2	№3 / No. 3
Содержание воды, % / Moisture, %	81,6±0,9	80,3±0,9	85,5±1,1
Общее содержание редуцирующих веществ, % масс. / The total content of reducing substances, % wt.	3,9±0,05	4,2±0,04	0,1±0,02
Сырой протеин, % масс. / Crude protein, % wt.	0,8±0,04	0,8±0,03	2,6±0,06
Содержание пищевых волокон, % масс. / The content of dietary fiber, % wt.	11,1±0,1	11,8±0,07	9,9±0,1
Содержание жира, % масс. / Fat content, % wt.	0,1±0,01	0,1±0,01	0,2±0,01
Энергетическая ценность, ккал / Energy value, kcal	40	45	30

<sup>4</sup>ГОСТ Р 54014-2010. Продукты пищевые функциональные. Определение растворимых и нерастворимых пищевых волокон ферментативно-гравиметрическим методом. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.

URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/50525/>

<sup>5</sup>ГОСТ 25555.4-91. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения золы и щелочности общей и водорастворимой золы. М.: Стандартинформ, 2011. 6 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/105/10506.pdf>

<sup>6</sup>ТР ТС 022/2011. Технический регламент Таможенного союза. Пищевая продукция в части ее маркировки. 2011. 26 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320347>

По отличительным признакам все 3 вида пищевой добавки характеризуются высоким содержанием пищевых волокон (более 6 г/100 г), образец 3 отличается еще и высоким содержанием белка (более 20 % вклада в пищевую ценность).

Режимные параметры экструдирования смесей представлены в таблице 3. Значимых отличий по моменту сдвиговых деформаций, характеризующих воздействие сил трения на перерабатываемый материал, не отмечено.

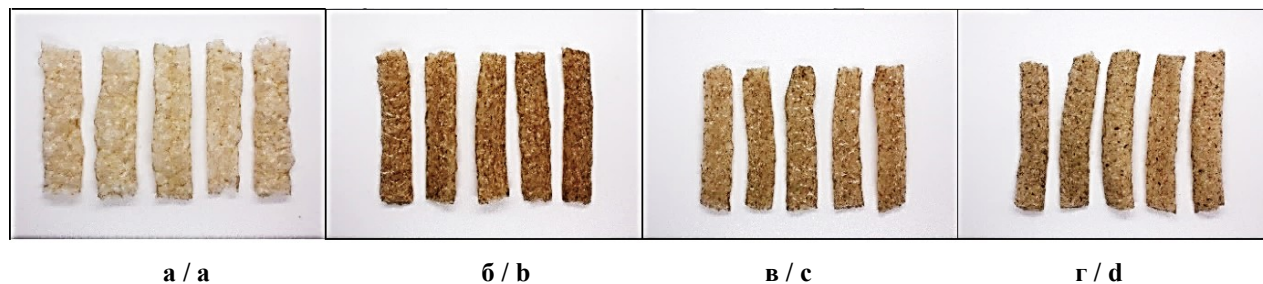
**Таблица 3 – Режимные параметры экструдирования смесей с добавлением продуктов переработки топинамбура**

**Table 3 – Regime parameters of extrusion of mixtures with the addition of processed Jerusalem artichoke products**

Наименование продукта / Product	Влажность смеси, % / Moisture of the mixture, %	Скорость вращения шнеков, мин <sup>-1</sup> / Screw speed, min <sup>-1</sup>	Температура, °С / Temperature, °С	Момент сдвиговых деформаций, % / Torque, %	Давление, МПа / Pressure, МПа
Контроль без ФТ / Control without FAJA	21,0±0,5	230	158±3	38±2	1,5±0,17
Образец с ФТ №1 / Mixture with FAJA No.1	22,6±0,7	230	160±2	38±1	1,1±0,1
Образец с ФТ №2 / Mixture with FAJA No.2	21,5±0,5	230	160±1	36±2	1,0±0,1
Образец с ФТ №3 / Mixture with FAJA No.3	22,1±0,4	230	160±1	42±3	1,3±0,17

Согласно данным эксперимента максимальное давление в камере экструдера соответствовало переработке контрольной смеси и составило 1,5 МПа. Добавление пищевой добавки снижало давление, но статистически значимое уменьшение отмечено только для образцов ФТ №1 и №2.

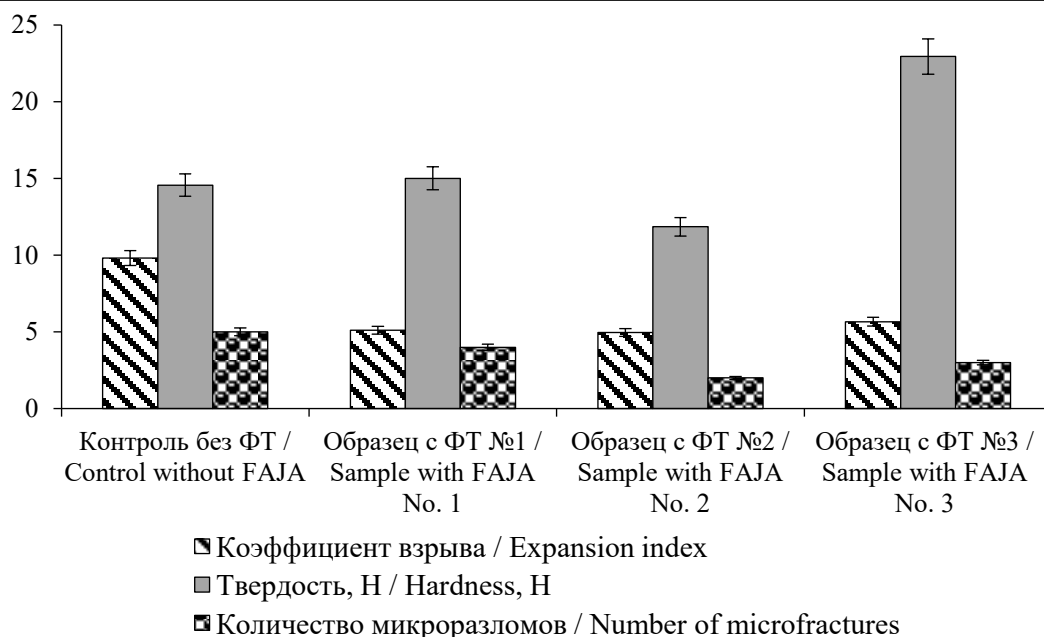
Образцы экструдатов с добавлением 15%-ной пищевой добавки, полученной в результате комплексной переработки топинамбура представлены на рисунке 2. По визуальной оценке внешнего вида видно, что внесение пищевой добавки значимо изменило структуру продукта, уплотнило ее.



**Рис. 2. Образцы экструдатов с добавлением ФТ: а – контроль без ФТ; б – ФТ №1; в – ФТ №2; г – ФТ №3 / Fig. 2. Extrudate samples with FAJA: a – control without FAJA; б – FAJA No.1; в – FAJA No.2; г – FAJA No. 3**

Влияние внесения ФТ на структурно-механические свойства экструдатов представлено на рисунке 3. Установлено, что при экструзии опытных образцов по сравнению с контролем показатели коэффициента взрыва и количества микроразломов значимо уменьшались, что свидетельствуют о том, что с добавлением ФТ образцы становились менее пористыми, снижалась их хрусткость. Коэффициент взрыва с внесением всех образцов добавки снизился на 42-49 % – минимальное снижение с 9,8 до 5,7 отмечено для смеси с ФТ №3. Твердость образца

с ФТ №1, характеризующая максимальную нагрузку, имитирующую сжатие продукта между зубами, не имеет значимых различий с контролем. Статистически значимое минимальное значение твердости 11,8 Н соответствует экструдату ФТ №2, показатель твердости образца ФТ №3 практически в 2 раза больше – 22,9 Н. Таким образом, внесение добавки топинамбура, полученной на различных этапах его комплексной переработки на спирт, в экструдированную смесь оказывает разнонаправленное влияние на твердость экструдатов.



**Рис. 3. Влияние типа пищевой добавки топинамбура на структурно-механические показатели экструдатов /**

**Fig. 3. Influence of the type of Jerusalem artichoke food additive on the structural and mechanical properties of extrudates**

Данные по колориметрическим характеристикам образцов представлены в таблице 4. Внесение ФТ изменяет цветовые характеристики образцов: светлота «L» уменьшается, коэффи-

циент спектрального отражения по оси «а» переходит из области зеленого оттенка в область красного, «b» – в сторону желтого оттенка.

**Таблица 4 – Цветовые характеристики экструдатов / Table 4 – Color characteristics of extrudates**

№ образца / Sample No.	L	a	b
Контроль без ФТ / Control without FAJA	58,1±1,1	-1,7±0,3	2,0±0,3
Образец с ФТ №1 / Sample with FAJA No.1	50,8±2,0	2,1±0,2	3,3±0,9
Образец с ФТ №2 / Sample with FAJA No.2	53,4±1,9	0,9±0,3	3,9±0,6
Образец с ФТ №3 / Sample with FAJA No.3	54,9±1,4	1,1±0,2	4,7±0,4

Оценка пищевой ценности полученных экструдированных продуктов, представленная в таблице 5, показывает значимое увеличение содержания пищевых волокон в экспериментальных образцах на 50-60 %, по содержанию жира различий не установлено. Минимальное содержание углеводов отмечено в образце с пищевой добавкой из топинамбура (№3), полученной после сбраживания и отгонки спирта. Для этого же образца характерно увеличение содержания белка в сравнении с контрольным и другими экспериментальными образцами, обусловленное его обогащением белком биомассы дрожжей, накопленной в процессе сбраживания суслы.

В литературе не представлено примеров утилизации клетчатки топинамбура после его переработки на спирт в продуктах экструзионной технологии. Известно исследование [25] по изучению процесса и продуктов экструзии гречневой крупы в смеси с высушенным порошком топинамбура, вносимом в смесь в количестве 30-80 %. Исследование показало, что топинамбур обладает большим потенциалом для включения в состав пищевых продуктов в качестве ингредиента с низким гликемическим индексом, улучшая пищевую ценность продуктов в целом. Результаты экспериментов показали, что увеличение дозировки высушенного топинамбура 0 до 80 % приводит к увеличению на 60 % общего содержания пищевых волокон

с 7,4 до 11,8 % при одновременном снижении содержания углеводов, липидов и белков. Образцы, содержащие 80 % топинамбура, относили к продуктам с низким гликемическим

индексом, а содержащие 30 и 60 % – со средним индексом. Гречневая крупа, используемая в качестве контроля, уже является ингредиентом с высоким содержанием пищевых волокон.

Таблица 5 – Пищевая ценность экструдированных продуктов /  
Table 5 – Nutritional value of extruded products

№ образца / Sample No.	Белки / Protein	Жиры / Fat	Углеводы / Carbohydrates	Пищевые волокна / Dietary fibers	Энергетическая ценность, ккал/100 г / Energy value, kcal/100 g
	г/100 г / g/100 g				
Контроль без ФТ / Control without FAJA	7,3	1,04	76,8	3,1	360
Образец с ФТ №1 / Sample with FAJA No.1	7,1	1,0	77,2	4,9	356
Образец с ФТ №2 / Sample with FAJA No.2	7,0	1,0	76,1	5,0	351
Образец с ФТ №3 / Sample with FAJA No.3	7,4	1,0	73,1	4,7	340

В нашем исследовании увеличение содержания пищевых волокон составило 52-61 %. Необходимо отметить повышение содержания белка до 7,4 г при переработке смеси с пищевой добавкой топинамбура, полученной после полного цикла переработки топинамбура на спирт, что подтверждает перспективность использования вторичных сырьевых ресурсов после процессов сбраживания углеводного сырья для повышения содержания белка в экструзионных продуктах и кормах [22, 26, 27].

**Закключение.** На основе проведенных исследований разработана экструзионная технология утилизации высоковлажных продуктов

переработки топинамбура с различных стадий его переработки. Использование пищевых добавок топинамбура как со стадии гидромеханической переработки, так и после сбраживания, вносимых в количестве 15 % к экструдированной смеси, значительно (на 52-61 %) повышает содержание пищевых волокон. Более перспективным является использование в качестве ингредиента пищевой добавки топинамбура после полного цикла его переработки на спирт, что позволяет обогатить продукт микробиологическим белком биомассы спиртовых дрожжей и повысить общее содержание белка.

#### Список литературы

- Музычук А. С., Лапин А. А., Пасько Н. М., Федосеева Г. П., Багаутдинова Р. И., Зеленков В. Н. Топинамбур – ценная культура. Картофель и овощи. 2008;(6):28-29.
- Старовойтов В. И., Старовойтова О. А., Звягинцев П. С., Лазунин Ю. Т. Топинамбур – культура многоцелевого использования. Пищевая промышленность. 2013;(4):22-25.
- Slimestad R., Seljaasen R., Meijer K., Skar S. L. Norwegian-grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): morphology and content of sugars and fructo-oligosaccharides in stems and tubers. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2010;90(6):956-964. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3903>
- Sawicka B., Skiba D., Pszczółkowski P., Aslan I., Sharifi-Rad J., Krochmal-Marczak B. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a medicinal plant and its natural products. Cellular and molecular biology Noisy-le-Grand. 2020;66(4):160-177. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32583794/>
- Pan L., Sinden M. R., Kennedy A. H., Chai H., Watson L. E., Graham T. L., Kinghorn A. D. Bioactive constituents of *Helianthus tuberosus* (Jerusalem artichoke). Phytochemistry Letters. 2009;2(1):15-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2008.10.003>
- Ahmed M. S., El-Sakhawy F. S., Soliman S. N., Abou-Hussein D. M. R. Phytochemical and biological study of *Helianthus tuberosus* L. Egyptian Journal of Biomedical Sciences. 2005;(18):134-147.
- Кожухова М. А., Бархатова Т. В., Алтушнян М. К., Хрипко И. А., Рыльская Л. А. Разработка технологии продуктов функционального питания на основе топинамбура. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2005;(2-3(285-286)):21-23. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14981865> EDN: MPWBFT
- Ражина Е. В., Смирнова Е. С. Производство йогурта, обогащенного топинамбуром разных фракций. Молочнохозяйственный вестник. 2021;(3(43)):146-159. DOI: [https://doi.org/10.52231/2225-4269\\_2021\\_3\\_146](https://doi.org/10.52231/2225-4269_2021_3_146) EDN: UMEFOD



9. Penskza P., Sárosi R., Juhász R., Manninger-kóczán K., Szabó-Nótin B., Szakács L., Barta J. Jerusalem artichoke powder as a food additive in dairy products and fat replacers. *Acta Alimentaria*. 2013;42(1):53-62. DOI: <https://doi.org/10.1556/aalim.42.2013.suppl.7>
10. Пономарева М., Крикунова Л., Юдина Т. Хлеб функционального назначения с использованием жмыха топинамбура. *Хлебопродукты*. 2009;(10):44-45. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15116947> EDN: MSUXMJ
11. Ozgoren E., Isik F., Yapar A. Effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) supplementation on chemical and nutritional properties of crackers. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2019;(13):2812-2821. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00201-9>
12. Устинова А. В., Дыдыкин А. С. Топинамбур и продукты его переработки в функциональных мясных продуктах. *Мясная индустрия*. 2012;(2):19-21. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17691126> EDN: OXDNBF
13. Маликова А. В., Алтуньян М. К., Прудникова Т. Н., Некрасова М. В. Овощные ферментированные напитки на основе топинамбура. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2007;(5-6(300-301)):52-53. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12138184> EDN: KFQCYH
14. Kolida S., Tuohy K., Gibson G. R. Prebiotic effects of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*. 2002;87(S2):193-197. DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN/2002537>
15. Roberfroit M., Gibson G. R., Hoyles L., McCartney A. L., Rastall R., Rowland I., Wolvers D., Watzl B., Szajewska H., Stahl B., Guarner F., Respondek F., Whelan K., Coxam V., Davicco M.-J., Léotoing L., Wittrant Y., Delzenne N. M., Cani P. D., Neyrinck A. M., Meheust A. Prebiotic effects: metabolic and health benefits. *British Journal of Nutrition*. 2010;104(S2):S1-S63. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114510003363>
16. Qiu Y., Lei P., Zhang Y., Sha Yu., Zhan Yi., Xu Z., Li Sh., Xu H., Ouyang P. Recent advances in bio-based multi-products of agricultural Jerusalem artichoke resources. *Biotechnology Biofuels*. 2018;(11):151. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1152-6>
17. Bhagia S., Akinosho H., Ferreira J. F., Ragauskas A. J. Biofuel production from Jerusalem artichoke tuber inulins: a review. *Biofuel Research Journal*. 2017;4(2):587-599. DOI: <https://doi.org/10.18331/BRJ2017.4.2.4>
18. Li L., Li L., Wang Y., Du Y., Qin S. Biorefinery products from the inulin-containing crop Jerusalem artichoke. *Biotechnology Letters*. 2012;35:471-477. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10529-012-1104-3>
19. Абрамова И. М., Туршатов М. В., Кривченко В. А., Соловьев А. О., Никитенко В. Д. Исследование биохимического состава топинамбура и получаемых на его основе этилового спирта и пищевых функциональных продуктов. *Биотехнология*. 2022;(38(4)):56-61. DOI: <https://doi.org/10.56304/S0234275822040020> EDN: DCDJRK
20. Аширова Ю., Цыганова Т. Технология ржаных полуфабрикатов с применением послеспиртовой барды из топинамбура. *Хлебопродукты*. 2009;(11):44-46. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15116987> EDN: MSUYBT
21. Кривченко В. А., Туршатов М. В., Соловьев А. О., Абрамова И. М. Спиртовое производство – технологическая основа комплексной переработки зерна с получением пищевых продуктов. *Пищевая промышленность*. 2019;(4):53-54. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10027> EDN: GLMUSH
22. Ainsworth P., Ibanoglu S., Plunkett A., Ibanoglu E., Stojceska V. Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*. 2007;81(4):702-709. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004>
23. Brennan M. A., Derbyshire E. J., Tiwari B. K., Brennan C. S. Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science and Technology*. 2013;48(5):893-902. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
24. Дерканосова Н. М., Шеламова С. А., Василенко О. А., Пальникова С. С. Изучение потенциала продуктов переработки топинамбура как обогащающих пищевых ингредиентов. *Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции*. 2022;(1(18)):5-11. DOI: [https://doi.org/10.53914/issn2311-6870\\_2022\\_1\\_5](https://doi.org/10.53914/issn2311-6870_2022_1_5) EDN: UDFQYT
25. Radovanovic A., Stojceska V., Plunkett A., Jancovic S., Milovanovic D., Cupara S. The use of dry Jerusalem artichoke as a functional nutrient in developing extruded food with low glycaemic index. *Food Chemistry*. 2015;177:81-88. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.096>
26. Stojceska V., Plunkett A., Ibanoglu S. The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*. 2008;47(3):469-479. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2007.05.016>
27. Chevanan N., Rosentrater K., Muthukumarappan K. Effect of DDGS, Moisture Content, and Screw Speed on Physical Properties of Extrudates in Single-Screw Extrusion. *Cereal Chemistry*. 2008;85(2):132-139. DOI: <https://doi.org/10.1094/CCHEM-85-2-0132>

#### References

1. Muzychuk A. S., Lapin A. A., Pasko N. M., Fedoseeva G. P., Ba-gautdinova R. I., Zelenkov V. N. Jerusalem artichoke is a valuable crop. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2008;(6):28-29. (In Russ.).
2. Starovoytov V. I., Starovoytova O. A., Zvyagintsev P. S., Lazunin Yu. T. Jerusalem artichokes - the culture of multipurpose use. *Pishchevaya promyshlennost'* = Food Industry. 2013;(4):22-25. (In Russ.).
3. Slimestad R., Seljaasen R., Meijer K., Skar S. L. Norwegian-grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): morphology and content of sugars and fructo-oligosaccharides in stems and tubers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2010;90(6):956-964. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3903>
4. Sawicka B., Skiba D., Pszczółkowski P., Aslan I., Sharifi-Rad J., Krochmal-Marczak B. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a medicinal plant and its natural products. *Cellular and molecular biology Noisy-le-Grand*. 2020;66(4):160-177. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32583794/>

5. Pan L., Sinden M. R., Kennedy A. H., Chai H., Watson L. E., Graham T. L., Kinghorn A. D. Bioactive constituents of *Helianthus tuberosus* (Jerusalem artichoke). *Phytochemistry Letters*. 2009;2(1):15-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2008.10.003>
6. Ahmed M. S., El-Sakhawy F. S., Soliman S. N., Abou-Hussein D. M. R. Phytochemical and biological study of *Helianthus tuberosus* L. *Egyptian Journal of Biomedical Sciences*. 2005;(18):134-147.
7. Kozhukhova M. A., Barkhatova T. V., Altunyan M. K., Khripko I. A., Rylskaya L. A. Development of technology for functional food products based on Jerusalem artichoke. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya* = *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2005;(2-3(285-286)):21-23. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14981865>
8. Razhina E. V., Smirnova E. S. Production of yogurt enriched with topinambour (*helianthus tuberosus*) of different fractions. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2021;(3(43)):146-159. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.52231/2225-4269\\_2021\\_3\\_146](https://doi.org/10.52231/2225-4269_2021_3_146)
9. Penksza P., Sárosi R., Juhász R., Manninger-kóczán K., Szabó-Nótin B., Szakács L., Barta J. Jerusalem artichoke powder as a food additive in dairy products and fat replacers. *Acta Alimentaria*. 2013;42(1):53-62. DOI: <https://doi.org/10.1556/aalim.42.2013.suppl.7>
10. Ponomareva M., Krikunova L., Yudina T. Functional bread with the use of Jerusalem artichoke cake. *Khlebo-produkty*. 2009;(10):44-45. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15116947>
11. Ozgoren E., Isik F., Yapar A. Effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) supplementation on chemical and nutritional properties of crackers. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2019;(13):2812-2821. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00201-9>
12. Ustinova A. V., Dydykin A. S. Jerusalem artichoke and products of its processing in functional meat products. *Myasnaya industriya* = *Meat Industry Journal*. 2012;(2):19-21. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17691126>
13. Malikova A. V., Altunyan M. K., Prudnikova T. N., Nekrasova M. V. Vegetable fermented drinks based on Jerusalem artichoke. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya* = *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2007;(5-6(300-301)):52-53. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12138184>
14. Kolida S., Tuohy K., Gibson G. R. Prebiotic effects of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*. 2002;87(S2):193-197. DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN/2002537>
15. Roberfroit M., Gibson G. R., Hoyles L., McCartney A. L., Rastall R., Rowland I., Wolvers D., Watzl B., Szajewska H., Stahl B., Guarner F., Respondek F., Whelan K., Coxam V., Davicco M.-J., Léotoing L., Wittrant Y., Delzenne N. M., Cani P. D., Neyrinck A. M., Meheust A. Prebiotic effects: metabolic and health benefits. *British Journal of Nutrition*. 2010;104(S2):S1-S63. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114510003363>
16. Qiu Y., Lei P., Zhang Y., Sha Yu., Zhan Yi., Xu Z., Li Sh., Xu H., Ouyang P. Recent advances in bio-based multi-products of agricultural Jerusalem artichoke resources. *Biotechnology Biofuels*. 2018;(11):151. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1152-6>
17. Bhagia S., Akinoshio H., Ferreira J. F., Ragauskas A. J. Biofuel production from Jerusalem artichoke tuber inulins: a review. *Biofuel Research Journal*. 2017;4(2):587-599. DOI: <https://doi.org/10.18331/BRJ2017.4.2.4>
18. Li L., Li L., Wang Y., Du Y., Qin S. Biorefinery products from the inulin-containing crop Jerusalem artichoke. *Biotechnology Letters*. 2012;35:471-477. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10529-012-1104-3>
19. Abramova I. M., Turshatov M. V., Krivchenko V. A., Soloviev A. O., Nikitenko V. D. Study of the biochemical composition of Jerusalem artichoke, as well as ethyl alcohol and food functional products obtained on its basis. *Biotehnologiya* = *Biotechnology in Russia*. 2022;(38(4)):56-61. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.56304/S0234275822040020>
20. Ashirova Yu., Tsyganova T. Technology of semi-finished rye products with the use of post-alcohol stillage from Jerusalem artichoke. *Khleboprodukty*. 2009;(11):44-46. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15116987>
21. Krivchenko V. A., Turshatov M. V., Solovyev A. O., Abramova I. M. Ethanol production is a technological basis of grain complex processing with foodstuff producing. *Pishchevaya promyshlennost'* = *Food Industry*. 2019;(4):53-54. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10027>
22. Ainsworth P., Ibanoglu S., Plunkett A., Ibanoglu E., Stojceska V. Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*. 2007;81(4):702-709. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004>
23. Brennan M. A., Derbyshire E. J., Tiwari B. K., Brennan C. S. Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science and Technology*. 2013;48(5):893-902. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
24. Derkanosova N. M., Shelamova S. A., Vasilenko O. A., Pal'chikova S. S. Studying the potential of Jerusalem artichoke processing products as enriching food ingredients. *Tekhnologii i tovarovedenie sel'skokhozyaystvennoy produktsii*. 2022;(1(18)):5-11. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.53914/issn2311-6870\\_2022\\_1\\_5](https://doi.org/10.53914/issn2311-6870_2022_1_5)
25. Radovanovic A., Stojceska V., Plunkett A., Jancovic S., Milovanovic D., Cupara S. The use of dry Jerusalem artichoke as a functional nutrient in developing extruded food with low glycaemic index. *Food Chemistry*. 2015;177:81-88. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.096>

## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

26. Stojceska V., Plunkett A., Ibanoglu S. The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*. 2008;47(3):469-479.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2007.05.016>

27. Chevanan N., Rosentrater K., Muthukumarappan K. Effect of DDGS, Moisture Content, and Screw Speed on Physical Properties of Extrudates in Single-Screw Extrusion. *Cereal Chemistry*. 2008;85(2):132-139.

DOI: <https://doi.org/10.1094/CCHEM-85-2-0132>

### Сведения об авторах

**Шариков Антон Юрьевич**, кандидат техн. наук, зав. отделом оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

**Туршатов Михаил Владимирович**, кандидат техн. наук, зав. отделом технологии спирта и комплексной переработки сырья, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1277-5498>

✉ **Амелякина Мария Валентиновна**, кандидат техн. наук, науч. сотрудник отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>, e-mail: [masha.am@mail.ru](mailto:masha.am@mail.ru)

**Соловьев Александр Олегович**, научный сотрудник отдела технологии спирта и комплексной переработки сырья, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2666-6890>

**Абрамова Ирина Михайловна**, доктор техн. наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9297-0554>

### Information about the authors

**Anton Yu. Sharikov**, PhD in Engineering, Head of the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

**Michail V. Turshatov**, PhD in Engineering, Head of the Department of Alcohol Technology and Complex Processing of Raw Materials, Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1277-5498>

✉ **Maria V. Amelyakina**, PhD in Engineering, researcher, the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>, e-mail: [masha.am@mail.ru](mailto:masha.am@mail.ru)

**Alexander O. Solovyev**, researcher, the Department of Alcohol Technology and Complex Processing of Raw Materials, Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2666-6890>

**Irina M. Abramova**, DSc in Engineering, Director, Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9297-0554>

✉ – Для контактов / Corresponding author