

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-627483>

Оригинальное исследование



# Влияние микроволновой обработки на антипитательные вещества соевых бобов

А.А. Белов

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Соевые бобы содержат антипитательные вещества, которые необходимо инактивировать перед использованием в качестве корма сельскохозяйственных животных и птиц.

**Цель работы** — получение новых данных о влиянии термической обработки на соевые бобы.

**Материалы и методы.** Соевые бобы сортов Dongsheng 22 и СК Альта обрабатывали микронизацией, автоклавированием и микроволнами в разработанной микроволновой установке.

**Результаты.** После микронизации снижение общего крахмала составило 10–16%, после автоклавирования и микроволновой обработки — 15–17%. Три вида обработки не оказали существенного влияния на общее содержание фенолов. Содержание флавоноидов увеличивалось при автоклавировании и микронизации на 7–9% и микроволновой обработке на 16%. При микронизации и автоклавировании соевых бобов изменений антиоксидантной активности не наблюдалось, однако при микроволновой обработке она повышалась на 3–5%. Снижение активности ингибитора трипсина при микроволновой обработке составило 80%, а при микронизации и автоклавировании — на 73–79%. Содержание танинов снижалось при микроволновой обработке на 10%, а при микронизации и автоклавировании на 7–9%. Снижение содержания фитиновой кислоты повторялось при всех обработках на 43–45%.

**Заключение.** Снижение антипитательных веществ после микронизации, автоклавирования и микроволновой обработки обеспечивает использование сои на корм. Более мягкий температурный режим и циклические процессы нагрева и охлаждения при микроволновой обработке повышают сохранность соевых бобов. Более высокая скорость нагрева и низкие энергетические затраты СВЧ-обработки обеспечивают экономическую целесообразность.

**Ключевые слова:** соевые бобы; микроволновая обработка; микронизация; автоклавирование; антипитательные вещества.

## Как цитировать:

Белов А.А. Влияние микроволновой обработки на антипитательные вещества соевых бобов // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 4. С. 386–393. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-627483>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-627483>

Original Study Article

# Effect of the microwave treatment on anti-nutrients of soybeans

Alexander A. Belov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Soybeans contain anti-nutrients that have to be inactivated before being used as feed for livestock and poultry.

**AIM:** Obtaining the new data on the effect of the heat treatment on soybeans.

**MATERIALS AND METHODS:** Soybeans of the Dongsheng 22 and SK Alta varieties were processed with micronization, autoclaving and microwaves in the developed microwave unit.

**RESULTS:** After micronization, the decrease in total starch was 10–16%, after autoclaving and microwave treatment — 15–17%. The three kinds of treatment did not have a significant effect on total phenolic content. The content of flavonoids increased by 7–9% after autoclaving and micronization and by 16% after microwave treatment. When micronizing and autoclaving soybeans, no changes in antioxidant activity were observed, but with microwave treatment, it increased by 3–5%. The decrease in trypsin inhibitor activity was 80% after microwave treatment and 73–79% after micronization and autoclaving. The tannin content was reduced by 10% with microwave treatment and by 7–9% after micronization and autoclaving. The decrease in phytic acid content was 43–45% and repeated for all kinds of treatment.

**CONCLUSION:** The reduction of antinutrients after micronization, autoclaving and microwave processing ensures the use of soybeans for feed. Milder temperature conditions and cyclic processes of heating and cooling during microwave processing increase the safety of soybeans. The higher heating rate and low energy costs of microwave processing ensure economic feasibility.

**Keywords:** soybeans; microwave processing; micronization; autoclaving; anti-nutrients.

## To cite this article:

Belov AA. Effect of the microwave treatment on anti-nutrients of soybeans. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(4):386–393.

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-627483>

Received: 26.02.2024

Accepted: 16.08.2024

Published online: 05.09.2024

## ВВЕДЕНИЕ

Отмечается наличие проблемы, ограничивающей применение сои и комбикормов на ее основе для питания сельскохозяйственных животных и птиц. Соевые бобы содержат антипитательные вещества, такие как уреазы, ингибиторы протеаз — трипсин и химотрипсин [1]. Поэтому в сыром виде соевые бобы не предназначены для корма. Для инактивации этих веществ применяют различные методы обработки сои, включая термические.

Было показано устранение антипитательных веществ нута после микроволновой обработки [2], а также снижение витамина В. Однако, при использовании автоклавирования или кипячения снижение было еще больше. Безусловным преимуществом считается сокращение времени микроволновой обработки бобовых и зерновых культур [3]. Следует отметить, что микроволновая обработка оказывает обеззараживающий эффект на зерно [4]. Кроме этого, отмечается магнитобиологический эффект при обработке микроволнами зерна [5]. Установлено увеличение скорости химических реакций в зернобобовых [6].

Влияние микроволновой обработки на активность ингибиторов уреазы и трипсина в соевых бобах широко не исследовалось, но последнее было продемонстрировано ранее в некоторых лабораторных отчетах [7].

Соевые бобы характеризуются относительно низким содержанием крахмала. Тем не менее, контроль степени его желатинизации в процессах термической обработки также важен.

**Цель исследований** — изучение влияния микроволновой обработки в сравнении с микронизацией и автоклавированием на антипитательные вещества соевых бобов для фуража и пищи.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Были закуплены соевые желтые бобы двух сортов Dongsheng 22 китайского производства и СК Альта российского производства. Для проведения экспериментов весь закупленный объем бобов был поделен на 5 партий: контрольные (влажность 10%), контрольные (влажность 20%), опытные (микронизация), опытные (автоклавирование), опытные (микроволны). Вес каждой партии была не менее 2,5 кг, а при необходимости и более. Влажность измерялась при помощи устройства «Влагомер зерна Фауна-М» [8]. Температура измерялась термопарой и пирометром FLUKE 561.

Всего было выделено три опытные партии бобов. Соевые бобы первой опытной партии были подвергнуты инфракрасной микронизации в лабораторных условиях с использованием стандартного серийно выпускаемого оборудования при температуре не выше 140°C в течение 15 мин.

Вторая опытная партия соевых бобов подвергалась обработке в автоклаве в лабораторных условиях

с использованием известного оборудования при температуре не более 120°C в течение 10 мин.

Третья опытная партия соевых бобов обрабатывалась при помощи разработанной микроволновой установки в лабораторных условиях при температуре не более 90°C в течение 5 мин [9].

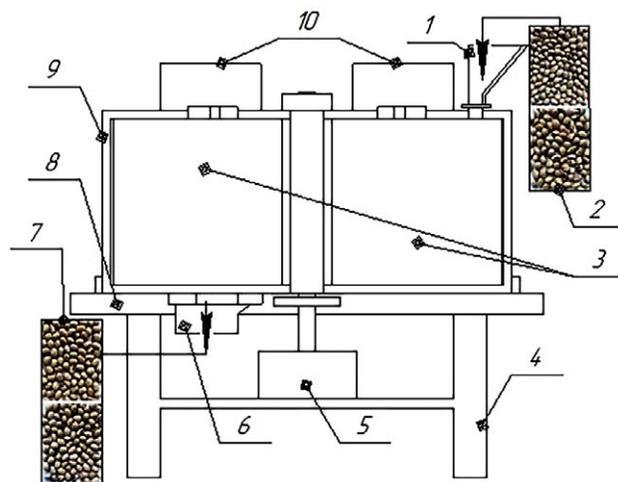
На рис. 1 показана микроволновая установка с загружаемыми и выгружаемыми соевыми бобами.

Соевые бобы двух сортов увлажнялись до 20% влажности, а затем загружались в загрузочную секцию и рабочие отсеки установки. В течение 5 мин бобы подвергались воздействию потока микроволн от магнетронов. Мотор, смонтированный на стойках и монтажном столе, приводит во вращение вал, на оси которого закреплены шесть лопастей под углом 60 градусов. Шесть лопастей формируют шесть рабочих отсеков одинакового объема в корпусе. Вращение лопастей обеспечивает распределение соевых бобов в отсеки, а также их равномерный нагрев.

Для достоверности опыты проводились в трехкратной повторности. Данные опытов анализировались на предмет соответствия научной интуиции и гипотезе. Основные данные выражены в средних значениях с отклонениями. Была проведена дисперсионная оценка по стандартному методу [10]. Использовался критерий Дункана для определения статистической значимости опытных данных с достоверностью 95% и значимостью  $p \leq 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Крахмал, фенолы, флавоноиды, антиоксидантная активность, а также основные антипитательные вещества



**Рис. 1.** Микроволновая установка: 1 — загрузочная секция; 2 — соевые бобы контрольные; 3 — рабочие отсеки; 4 — стойки; 5 — мотор; 6 — выгрузная секция; 7 — соевые бобы обработанные; 8 — стол; 9 — корпус; 10 — магнетроны.

**Fig. 1.** The microwave unit: 1 — a loading section; 2 — reference soybeans; 3 — operating sections; 4 — struts; 5 — a motor; 6 — a discharge section; 7 — treated soybeans; 8 — a table; 9 — a body structure; 10 — magnetrons.

были измерены в контрольных образцах соевых бобов при температуре 20% и влажности 10, 20% до обработки и в опытных образцах при трех видах обработки влажности 10%.

Было проведено 90 измерений крахмала, фенолов, флавоноидов и антиоксидантной активности соевых бобов Dongsheng 22 и СК Альта.

Крахмал определялся экспресс методом желатинизации соевых бобов на водяной бане при добавлении  $\alpha$ -амилазы. Далее проводилась инкубация и определение глюкозы при добавлении реагента (ГОСТ 6493-2015).

Общее содержание фенолов определяли, используя реагент Folin-Ciocalteu и галловую кислоту [11]. Реагент, галловую кислоту и дистиллированную воду перемешивали и инкубировали. Спектрофотометром IRIS HI801-02 измеряли поглощение при 760 нм. Общее содержание фенолов выражали в мг-ГАЕ/г.

Содержание флавоноидов определялось колориметрическим методом при использовании катехина,  $\text{NaNO}_2$ , раствора  $\text{AlCl}_3$  и спектрофотометра [12]. Флавоноиды выражали в мг-катехин/г.

Антиоксидантная активность соевых бобов измерялась по стандартному методу, как способность восстанавливать железо [13]. В пробах, перемешанных с реагентом, измеряли поглощение при 593 нм после инкубации на водяной бане. Реагент выбирался по параметру снижения антиоксидантной силы железа, данные выражали в ммоль- $\text{FE}/100$  г.

В табл. 1 показаны средние значения из трёх повторностей с вариациями в пределах от  $\pm 0,05$  до  $\pm 0,10$  для содержания крахмала, фенольных соединений, флавоноидов и антиоксидантной активности соевых бобов Dongsheng 22 и СК Альта. Данные, отмеченные одной и той же буквой в каждом столбце для одного и того же сорта, повторяются.

Общее количество крахмала в бобах СК Альта было меньше, чем в бобах Dongsheng 22. Содержание

фенольных соединений, флавоноидов и антиоксидантная активность в бобах СК Альта были выше, чем в бобах Dongsheng 22.

Уменьшение общего количества крахмала соответствовало содержанию желатинизированного крахмала. После инфракрасной микронизации снижение общего крахмала составило не более 10% для Dongsheng 22, 16% для СК Альта; после автоклавирования и микроволновой обработки для Dongsheng 22 составила 15%, для СК Альта составила 17%. Результаты отличаются от результатов исследования ячменя, в котором микроволновое нагревание ячменя показало меньшую желатинизацию крахмальных зёрен по сравнению с обработкой инфракрасным излучением [14]. Это связано с более крупным размером соевых бобов по сравнению с ячменем. Повышенный процент клейстеризации крахмала способствует повышению усвояемости животными полезных компонентов сои. Перед измельчением соевые бобы рекомендуется предварительно нагреть в автоклаве или микроволновой печи, а затем добавить в смешанный зерновой корм.

Микронизация и автоклавирование не оказали существенного влияния на общее содержание фенолов в обоих сортах соевых бобов. После микроволновой обработки общее содержание фенолов в бобах Dongsheng 22 и СК Альта увеличилось, но незначительно — на 4–5%. Содержание флавоноидов в бобах Dongsheng 22 и СК Альта увеличивалось после микронизации на 7–9% и микроволновой обработки не более чем на 16%. После автоклавирования содержание флавоноидов не изменилось. После микронизации и автоклавирования соевых бобов изменений антиоксидантной активности не наблюдалось. После микроволновой обработки антиоксидантная активность соевых бобов незначительно повышалась на 3–5%. Полученные данные не полностью соответствуют данным других исследователей. Исследование влияния приготовления риса в микроволновой печи показало увеличение

**Таблица 1.** Содержание крахмала, фенолов и антиоксидантная активность соевых бобов

**Table 1.** Content of starch, phenols and antioxidant activity of soybeans

Сорта соевых бобов	Образцы соевых бобов	Общий крахмал, %	Фенолы, мг-ГАЕ/г	Флавоноиды, мг-катехин/г	Антиоксидантная активность, ммоль- $\text{FE}/100$ г
Dongsheng 22	контрольные 10%	51 а	1,81 с	0,51 d	0,27 е
	контрольные 20%	52 а	1,82 с	0,51 d	0,28 е
	микронизация	46	1,80 с	0,55	0,27 е
	автоклав	43 b	1,83 с	0,52 d	0,29 е
	микроволны	42 b	1,91	0,56	0,30
СК Альта	контрольные 10%	40 f	1,95 h	0,66 i	0,32 j
	контрольные 20%	40 f	1,99 h	0,67 i	0,31 j
	микронизация	34 g	2,01 h	0,72 i	0,33 j
	автоклав	33 g	2,02	0,71 i	0,32 j
	микроволны	33 g	2,05	0,77	0,33 j

содержания фенолов и антиоксидантной активности [15]. Аналогичное исследование выявило увеличение концентрации, активности ингибитора  $\alpha$ -амилазы и общего содержания фенолов после микроволновой обработки на фоне микронизации, что может увеличивать только некоторые фенольные компоненты в бобах [16]. Если сравнить данные для риса и фасоли, то у них удельная мощность микроволн была выше. Возможно, это наблюдение позволит в будущем улучшить данные по общему содержанию фенолов. Для увеличения общего содержания фенолов можно увеличить мощность магнетрона, время обработки или вес перерабатываемых соевых бобов. Особенности конструкции экспериментальной микроволновой установки позволяют увеличить полную энергию, подводимую к бобам, за счет подключения к установке дополнительных магнетронов. Увеличение общего содержания фенола в целом сложно охарактеризовать однозначно. В состав входят полезные флавоноиды в ограниченной концентрации и вредные дубильные вещества. Небольшое процентное увеличение содержания флавоноидов в соевых бобах за счет микронизации и микроволновой обработки окажет положительное влияние на корм.

Ингибитор трипсина определялся по стандартному методу [17]. В сырых и опытных образцах соевых бобов производилась экстракция ингибитора трипсина при 9,5 ед. рН. Активность трипсина ингибировалась при использовании в качестве субстрата бензоил-L-аргинин-p-нитроанилид, определении Оставшаяся активность трипсина определялась путем спектрофотометрического измерения высвобожденного p-нитроанилина и вычисления трипсинингибирующей активности. Применялся лабораторный спектрофотометр IRIS HI801-02 (410 нм).

Таннины определялись экстрагированием соевых бобов в растворе метаноле с соляной кислотой. Было проведено центрифугирование и последующее их извлечение путем добавления реагента ванилин-соляная кислота

к аликвотной части верхнего слоя жидкости. При помощи спектрофотометра IRIS HI801-02 измерялась оптическая плотность полученного раствора при длине волны в 500 нм. Определение таннинов проводилось по градуировочному графику, построенному по дубильной кислоте [18].

Фитиновая кислота определялась по методу с использованием реагента Wade [19]. В образцы соевых бобов добавляли раствор соляной кислоты и центрифугировали. Затем при перемешивании добавлялся реагента Wade. Расчет фитиновой кислоты проводился по уровню поглощения при 520 нм спектрофотометрическими измерениями IRIS HI801-02.

Было проведено 90 измерений антипитательных веществ, из них по 15 раз для каждого сорта измеряли активность ингибитора трипсина, дубильные вещества и фитиновую кислоту. Кроме этого, были измерены указанные антипитательные вещества у нагретых не остуженных опытных образцов соевых бобов. Данные по нагретым соевым бобам повторили данные по остуженным. Существенных отличий в них обнаружено не было.

В табл. 2 сведены средние значения из трех повторностей. Стандартные отклонения были от  $\pm 0,05$  до  $\pm 0,10$ . Отмеченные одинаковой буквой данные существенных отличий не имеют.

Были повторены данные по антипитательным веществам сои для двух сырых необработанных образцов сои при различном содержании влаги. Влияние влаги на антипитательные вещества в соевых бобах было незначительным.

Ингибирующая активность трипсина была повторена в двух изученных сортах сои. Танины и фитиновая кислота были выше в бобах СК Альта.

Инфракрасная микронизация соевых бобов снижала активность ингибитора трипсина на 73–74%, автоклавирование — на 77–79%. Наиболее значительное снижение на 80% для обоих сортов произошло после микроволновой

**Таблица 2.** Антипитательные вещества в соевых бобах (в пересчете на сухой вес)

**Table 2.** Anti-nutrients in soybeans (in equivalent of dry weight)

Сорта соевых бобов	Образцы соевых бобов	Ингибитор трипсина, ИТЕ/мг	Таннины, %	Фитиновая кислота, %
Dongsheng 22	контрольные 10%	3,23 a	1,35 b	3,89 d
	контрольные 20%	3,25 a	1,34 b	3,88 d
	микронизация	0,85	1,25 c	2,13 e
	автоклав	0,69	1,24 c	2,19 e
	микроволны	0,65	1,20 c	2,14 e
СК Альта	контрольные 10%	3,11 f	1,49 g	3,89 i
	контрольные 20%	3,10 f	1,50 g	3,88 i
	микронизация	0,80	1,40 h	2,17 j
	автоклав	0,71	1,38 h	2,12 j
	микроволны	0,60	1,30 h	2,20 j

обработки. Данные по сортам колебались в аналогичном диапазоне. Аналогичные данные были представлены в статье о бобовых *Macrotyloma uniflorum* [20]. Низкий процент снижения ингибитора трипсина при микронизации обусловлен относительно крупным размером соевых бобов. Поверхностное инфракрасное нагревание соевых бобов характеризуется относительно длительным временем обработки. Автоклавирование обеспечило примерно такой же процент снижения содержания ингибиторов трипсина при примерно одинаковом времени обработки по сравнению с микроволновой печью. Но энергопотребление при автоклавировании было в 2 раза больше, чем при обработке в микроволновой печи.

Танины также снизились после всех обработок. Результаты снижения содержания танина в соевых бобах соответствовали данным, полученным для сорго, но с некоторыми отличиями [21]. Наиболее значительное снижение дубильных веществ на 10–12% произошло после микроволновой обработки за счет разрушения структуры сои за счет растрескивания лузги. После микронизации и автоклавирования данные о снижении содержания танинов немного ниже — 7–9%. Данные по танину для двух сортов сои варьировались в одинаковых пределах. Результаты снижения содержания дубильных веществ при увеличении общего содержания фенолов и антиоксидантной активности после микроволновой обработки не повторяют результаты работ по африканскому сорго. По данным, полученным в исследовании африканского сорго, содержание танинов, включая дубильные вещества, коррелирует с общим содержанием фенолов и антиоксидантной активностью [22]. Однако, общее фенольное содержание соевых бобов, помимо танина, содержит, среди прочего, флавоноиды, фенилпропаноиды, стильбены, лигнаны и лигнины. Содержание флавоноидов в бобовых преобладает над всеми остальными компонентами. Таким образом, увеличение общего содержания фенолов было связано с увеличением флавоноидов в соевых бобах при микроволновой обработке.

Данные о снижении содержания фитиновой кислоты в бобах (Dongsheng 22 и СК Альта) на 43–45% после всех рассмотренных видов обработки были повторены. Результаты в некоторой степени повторяют исследования бобовых сорта *Bauhinia purpurea* L. [23]. Эффект был получен за счет поверхностного давления соевых бобов во время автоклавирования и внутреннего давления в каждом

семени бобов во время микроволновой обработки. Кроме того, сказывалась высокая температура при микронизации. Предварительное замачивание соевых бобов способствовало вымыванию фитиновой кислоты из воды. Изменилась химическая структура и уменьшилось содержание фитиновой кислоты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микронизация показала меньшую желатинизацию крахмала по сравнению с автоклавированием и микроволновой обработкой. Фенолы, флавоноиды и антиоксидантная активность были немного увеличены при микроволновой обработке. Микроволновая обработка соевых бобов по сравнению с микронизацией и автоклавированием показала наибольшее снижение антипитательных веществ. Тенденция изменения данных для двух сортов сои повторилась. Снижение антипитательных веществ позволяет рекомендовать микронизацию, автоклавирование и микроволновую обработку перед измельчением сои на корм сельскохозяйственных животным. Более мягкий температурный режим воздействия и цикличность процессов нагрева и остывания при микроволновой обработке увеличивает сохранность соевых бобов. Высокая скорость нагрева и низкие энергетические затраты микроволновой обработки в сравнении с инфракрасной микронизацией и автоклавированием обеспечивают экономическую целесообразность.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Конфликт интересов.** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведённым исследованием и публикацией настоящей статьи.

**Источник финансирования.** Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Competing interests.** The author declares that he has no competing interests.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Foley J.J., Rosentrater K.A., Lamsal B., Poovaiah N. Processing approaches to improve functionality and value of soybean products // American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2013. N. 2. P. 1012–1038. doi: 10.13031/aim.20131592967
2. Saleh A.A., El-Adawy T.A. Nutritional composition of chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by microwave cooking and other traditional cooking methods // Journal of Food Composition and Analysis. 2006. N. 19. P. 806–812. doi: 10.1016/j.jfca.2006.03.015
3. Vasilyev A.A., Vasilyev A.N., Budnikov D. Using modeling to select the type of microwave field emitter for dense-layer grain dryers // Applied Sciences. 2023. V. 13, N. 16. 9070. doi: 10.3390/app13169070
4. Максименко В.А., Буханцов К.Н. Расчёт и выбор параметров электромагнита для обеззараживающего устройства зерна и семян // Тракторы и сельхозмашины. 2022. Т. 89, № 3. С. 223–232. doi: 10.17816/0321-4443-106120

5. Дорохов А.С., Чаплыгин М.Е., Аксёнов А.Г. и др. Обработка семян зерновых культур в низкочастотном электромагнитном поле // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17, № 4. С. 4–11. doi: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-4-11
6. Козырский В.В., Савченко В.В., Синявский А.Ю. Предпосевная обработка семян зернобобовых культур в магнитном поле // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13, № 1. С. 21–26. doi: 10.22314/2073-7599-2018-13-1-21-26
7. White C.E., Campbell D.R., McDowell L.R. Effects of dry matter content on trypsin inhibitors and urease activity in heat treated soya beans fed to weaned piglets // *Animal Feed Science and Technology*. 2000. № 87, P. 105–115. doi: 10.1016/S0377-8401(00)00168-1
8. Будников Д.А. Определение фактора диэлектрических потерь зерновоздушной смеси пшеницы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13, № 2. С. 10–14. doi: 10.22314/2073-7599-2018-13-2-10-14
9. Белов А.А., Сторчевой В.Ф. Комбинированный диэлектрический и индукционный нагрев фуражного зерна // *Природообустройство*. 2014. № 3. С. 79–83.
10. Belov A., Vasilyev A., Dorokhov A. Effect of microwave pretreatment on the exchange energy of forage barley // *Journal of Food Process Engineering*. 2021. Vol. 44, N. 9. doi: 10.1111/jfpe.13785
11. Xu B.J., Chang S.K.C. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents // *Journal of Food Science*. 2007. N. 72. P. 159–166. doi: 10.1111/j.1750-3841.2006.00260.x
12. Heimler D., Vignolini P., Dini M.G., Romani A. Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* L. dry beans // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005. N. 53. P. 3053–3056. doi: 10.1021/jf049001r
13. Benzie I.F.F., Strain J.J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay // *Analytical Biochemistry*. 1996. N. 239. P. 70–76. doi: 10.1006/abio.1996.0292
14. Собченко Ю.А., Омаров А.Н., Белов А.А. Проведение трёхфакторного эксперимента по сверхвысокочастотной микронизации зерновых кормов // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2021. Т. 68, № 3 (44). С. 116–123. doi: 10.22314/2658-4859-2021-68-3-116-123
15. Chin L., Therdthai N., Ratphitagsanti W. Effect of microwave cooking on quality of riceberry rice (*Oryza sativa* L.) // *Journal of Food Quality*. 2020. N. 2. P. 1–9. doi: 10.1155/2020/4350274
16. Oomah B.D., Kotzeva L., Allen M., Bassinello P.Z. Microwave and micronization treatments affect dehulling characteristics and bioactive contents of dry beans (*phaseolus vulgaris* l) // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2014. Vol. 94, N. 7. P. 1349–1358. doi: 10.1002/jsfa.6418
17. Smith C., Megen W.V., Twaalfhoven L., Hitchcock C. The determination of trypsin inhibitor levels in foodstuffs // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1980. N. 31. P. 321–350. doi: 10.1002/jsfa.2740310403
18. Price M.L., van Scoyoc S., Butler L.G. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain // *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 1978. Vol. 26. P. 1214–1218. doi: 10.1021/jf60219a031
19. Vaintraub I.A., Lapteva N.A. Colorimetric determination of phytate in unpurified extracts of seeds and the products of their processing // *Analytical Biochemistry*. 1988. N. 175. P. 227–230. doi: 10.1016/0003-2697(88)90382-X
20. Vashishth R., Semwal A.D., Naika M. et al. Influence of cooking methods on antinutritional factors, oligosaccharides and protein quality of underutilized legume *Macrotyloma uniflorum* // *Food Research International*. 2021. N. 143. 110299. doi: 10.1016/j.foodres.2021.110299
21. Mohapatra D., Patel A.S., Kar A. et al. Effect of different processing conditions on proximate composition, antioxidants, anti-nutrients and amino acid profile of grain sorghum // *Food Chemistry*. 2019. N. 271. P. 129–135. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.07.196
22. Dlamini N.R., Taylor J.R.N., Rooney L.W. The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods // *Food Chemistry*. 2007. Vol. 105, N. 4. P. 1412–1419. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.05.017
23. Vijayakumari K., Pugalenth M., Vadivel V. Effect of soaking and hydrothermal processing methods on the levels of antinutrients and in vitro protein digestibility of *Bauhinia purpurea* L. seeds // *Food Chemistry*. 2007. Vol. 103. P. 968–975. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.07.071

## REFERENCES

1. Foley JJ, Rosentrater KA, Lamsal B, Poovaiah N. Processing approaches to improve functionality and value of soybean products. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 2013;2:1012–1038. doi: 10.13031/aim.20131592967
2. Saleh AA, El-Adawy TA. Nutritional composition of chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by microwave cooking and other traditional cooking methods. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2006;19:806–812. doi: 10.1016/j.jfca.2006.03.015
3. Vasilyev AA, Vasilyev AN, Budnikov D. Using modeling to select the type of microwave field emitter for dense-layer grain dryers. *Applied Sciences*. 2023;13(16):9070. doi: 10.3390/app13169070
4. Maksimenko VA, Bukhantsov KN. The calculation and choice of the electromagnet parameters for the grain and seeds disinfectant device. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2022;89(3):223–232. (In Russ.) doi: 10.17816/0321-4443-106120
5. Dorokhov AS, Chaplygin ME, Aksenov AG et al. Grain seed treatment by a low-frequency electromagnetic field. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023;17(4):4–11. (In Russ.) doi: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-4-11
6. Kozyrskiy VV, Savchenko VV, Sinyavskiy AYU. Pre-sowing treatment of leguminous crop seeds with a magnetic field. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2019;13(1):21–26. (In Russ.) doi: 10.22314/2073-7599-2018-13-1-21-26
7. White CE, Campbell DR, McDowell LR. Effects of dry matter content on trypsin inhibitors and urease activity in heat treated soya beans fed to weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*. 2000;87:105–115. doi: 10.1016/S0377-8401(00)00168-1
8. Budnikov D.A. Determination of the dielectric loss factor of a grain-air mixture of wheat. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2019;13(2):10–14. (In Russ.) doi: 10.22314/2073-7599-2018-13-2-10-14

9. Belov AA, Storchevoy VF. Combined dielectric and induction heating of fodder grain. *Priradoobustrojstvo*. 2014;3:79–83. (In Russ.)
10. Belov A, Vasilyev A, Dorokhov A. Effect of microwave pretreatment on the exchange energy of forage barley. *Journal of Food Process Engineering*. 2021;44(9). doi: 10.1111/jfpe.13785
11. Xu BJ, Chang SKC. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *Journal of Food Science*. 2007;72:159–166. doi: 10.1111/j.1750-3841.2006.00260.x
12. Heimler D, Vignolini P, Dini MG, Romani A. Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* L. dry beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005;53:3053–3056. doi: 10.1021/jf049001r
13. Benzie IFF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*. 1996;239:70–76. doi: 10.1006/abio.1996.0292
14. Sobchenko YuA, Omarov AN, Belov AA. The three-factor experiment on microwave micronization of grain fee. *Elektrotehnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2021;68(3):116–123. (In Russ.) doi: 10.22314/2658-4859-2021-68-3-116-123
15. Chin L, Therdthai N, Ratphitagsanti W. Effect of microwave cooking on quality of riceberry rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Food Quality*. 2020;2:1–9. doi: 10.1155/2020/4350274
16. Oomah BD, Kotzeva L, Allen M, Bassinello PZ. Microwave and micronization treatments affect dehulling characteristics and bioactive contents of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2014;94(7):1349–1358. doi: 10.1002/jsfa.6418
17. Smith C, Megen WV, Twaalfhoven L, Hitchcock C. The determination of trypsin inhibitor levels in foodstuffs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1980;31:321–350. doi: 10.1002/jsfa.2740310403
18. Price ML, van Scoyoc S, Butler LG. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 1978;26:1214–1218. doi: 10.1021/jf60219a031
19. Vaintraub IA, Lapteva NA. Colorimetric determination of phytate in unpurified extracts of seeds and the products of their processing. *Analytical Biochemistry*. 1988;175:227–230. doi: 10.1016/0003-2697(88)90382-X
20. Vashishth R, Semwal AD, Naika M et al. Influence of cooking methods on antinutritional factors, oligosaccharides and protein quality of underutilized legume *Macrotyloma uniflorum*. *Food Research International*. 2021;143:110299. doi: 10.1016/j.foodres.2021.110299
21. Mohapatra D, Patel AS, Kar A et al. Effect of different processing conditions on proximate composition, antioxidants, anti-nutrients and amino acid profile of grain sorghum. *Food Chemistry*. 2019;271:129–135. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.07.196
22. Dlamini NR, Taylor JRN, Rooney LW. The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. *Food Chemistry*. 2007;105(4):1412–1419. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.05.017
23. Vijayakumari K, Pugalenti M, Vadivel V. Effect of soaking and hydrothermal processing methods on the levels of antinutrients and in vitro protein digestibility of *Bauhinia purpurea* L. seeds. *Food Chemistry*. 2007;103:968–975. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.07.071

## ОБ АВТОРЕ

**Белов Александр Анатольевич,**

д-р техн. наук;

главный научный лаборатории электро- и теплотехнологий;

адрес: Российская Федерация, 109428, Москва,

1-й Институтский п-д, д. 5, стр. 1;

ORCID: 0000-0002-9216-9852;

eLibrary SPIN: 7360-5859;

e-mail: belov-aa-chgsha@mail.ru

## AUTHOR'S INFO

**Alexander A. Belov,**

Dr. Sci. (Engineering),

Senior Researcher of the Electrical and Heat Technologies

Laboratory;

address: 5 bldg 1 1<sup>st</sup> Institutsky drive, 109428 Moscow,

Russian Federation;

ORCID: 0000-0002-9216-9852;

eLibrary SPIN: 7360-5859;

e-mail: belov-aa-chgsha@mail.ru