

УДК 664.788.4

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-396-07-164-171

**С.В. Зверев**<sup>1</sup>  
**И.Э. Миневич**<sup>2</sup>  
**А.С. Васильев**<sup>3</sup> ✉  
**Е.Н. Чумакова**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>АО Группа компаний «Мелком»,  
Тверь, Россия

<sup>2</sup>Федеральный научный центр  
лущяных культур, Тверь, Россия

<sup>3</sup>Тверская государственная  
сельскохозяйственная  
академия, Тверь, Россия

✉ [vasilevtgsha@mail.ru](mailto:vasilevtgsha@mail.ru)

Поступила в редакцию: 20.03.2025  
 Одобрена после рецензирования: 09.06.2025  
 Принята к публикации: 24.06.2025

© Зверев С.В., Миневич И.Э.,  
Васильев А.С., Чумакова Е.Н.

## Продукты обрушения семян рапса: разделение и оценка качества

### РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Получение качественных рапсoproductов является неотъемлемой частью реализации эффективных технологий переработки семян рапса. Среди приемов предварительной подготовки семенного материала для дальнейшего применения выделяется обрушение, обеспечивающее разделение оболочки и ядра.

**Цель работы** — изучение в лабораторных условиях различных режимов дробления семян рапса и их последующего фракционирования с выделением белково-жировой компоненты в виде дробленого ядра и оболочек.

**Методика.** Объект исследований — семена ярового рапса 00-типа, соответствующие требованиям ГОСТ 10583-76. Эксперименты включали анализ технологических параметров операций процесса обрушения: дробление → ситосепарирование → пневмосепарирование. В отдельном опыте была изучена эффективность фотосепарирования измельченного материала. Биохимическую оценку продуктов обрушения выполняли в соответствии с действующими нормативно-методическими документами, математическую обработку — при помощи прикладного программного комплекса MS Excel (USA).

**Результаты.** Определено, что обрушение семян рапса при оптимизации рабочих режимов позволяет обеспечить выход (более 80%) продукта с высоким содержанием белка и жира при низком содержании клетчатки. При этом отходы после пневмосепарирования (около 20%) могут быть использованы на кормовые цели. Одновременно, учитывая ярко выраженное цветное различие ядра и примеси, для фракционирования и отделения необрушенных семян можно использовать фотосепарирование. Таким образом, при сравнительно небольших потерях удается существенно повысить качество фракции ядра при обрушивании семян рапса. Выделенное ядро богато белком (21,7%) и жиром (37,4%), но при этом в нем отсутствуют антипитательные вещества, прежде всего лигнин и другие фенольные соединения, находящиеся в оболочке семян рапса.

**Ключевые слова:** масличные семена, рапс, обрушение, продукты разделения, выход, химические характеристики

**Для цитирования:** Зверев С.В., Миневич И.Э., Васильев А.С., Чумакова Е.Н. Продукты обрушения семян рапса: разделение и оценка качества. *Аграрная наука*. 2025; 396(07): 164–171.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-164-171>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-396-07-164-171

**Sergey V. Zverev**<sup>1</sup>  
**Irina E. Minevich**<sup>2</sup>  
**Alexander S. Vasiliev**<sup>3</sup> ✉  
**Elena N. Chumakova**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>JSC “Melcom” Group of Companies»,  
Tver, Russia

<sup>2</sup>Federal Scientific Center of Bast Crops,  
Tver, Russia

<sup>3</sup>Tver State Agricultural Academy,  
Tver, Russia

✉ [vasilevtgsha@mail.ru](mailto:vasilevtgsha@mail.ru)

Received by the editorial office: 20.03.2025  
 Accepted in revised: 09.06.2025  
 Accepted for publication: 24.06.2025

© Zverev S.V., Minevich I.E., Vasiliev A.S.,  
Chumakova E.N.

## Rapeseed seed collapse products: separation and quality assessment

### ABSTRACT

**Relevance.** Obtaining high-quality rapeseed products is an integral part of the implementation of effective technologies for processing rapeseed seeds. Among the methods of preliminary preparation of seed material for further use, collapse stands out, which ensures the separation of the shell and the core.

The aim of the work was to study in laboratory conditions various modes of crushing rapeseed seeds and their subsequent fractionation with the release of a protein-fat component in the form of a crushed core and shells.

**The methodology.** The object of research is 00-type spring rape seeds that meet the requirements of GOST 10583-76 (Russia). The experiments included an analysis of the technological parameters of the collapse process operations: crushing → sieve separation → pneumatic separation. In a separate experiment, the effectiveness of photoseparation of crushed material was studied. The biochemical assessment of the collapse products was carried out in accordance with the current regulatory and methodological documents, mathematical processing was carried out using the MS Excel (USA) application software package.

**Results.** It was determined that the collapse of rapeseed seeds, while optimizing operating modes, allows for the yield (more than 80%) of a product with a high protein and fat content with a low fiber content. At the same time, slopes after pneumatic separation (about 20%) can be used for feed purposes. At the same time, taking into account the pronounced color difference between the core and the impurity, photoseparation can be used for fractionation and separation of unbroken seeds. Thus, with relatively small losses, it is possible to significantly improve the quality of the core fraction during the collapse of rapeseed seeds. The isolated kernel is rich in protein (21.7%) and fat (37.4%), but it lacks anti-nutrients, primarily lignin and other phenolic compounds found in the shell of rapeseed seeds.

**Key words:** oilseeds, rapeseed, collapse, separation products, yield, chemical characteristics

**For citation:** Zverev S.V., Minevich I.E., Vasiliev A.S., Chumakova E.N. Rapeseed seed collapse products: separation and quality assessment. *Agrarian science*. 2025; 396(07): 164–171 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-164-171>

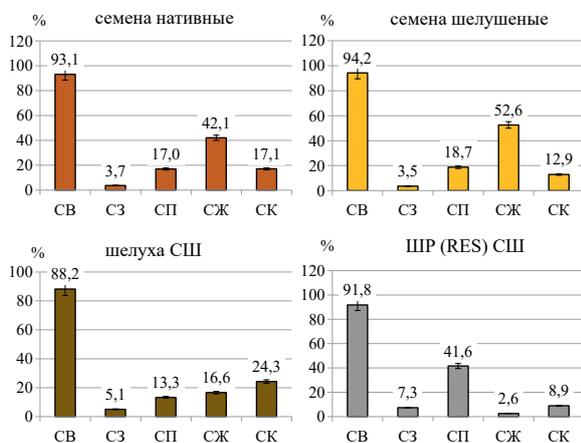
**Введение/Introduction**

Рапс (*Brassica napus* L.) — важнейшая масличная культура, экономическое значение которой в последние десятилетия существенно возросло, главным образом благодаря его широкому использованию для получения биодизеля [1–3]. Вместе с тем многими исследователями отмечается, что продукты переработки рапсовых семян имеют широчайшие перспективы для кормопроизводства и пищевой промышленности [4–6]. Это объясняется прежде всего исключительно богатым биохимическим составом как целых семян рапса, так и отдельных их частей (рис. 1).

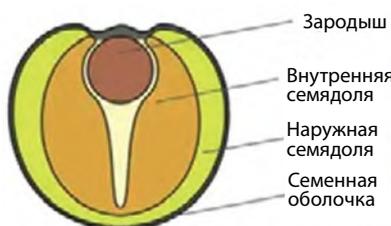
В первую очередь семена рапса характеризуются высоким содержанием белка (степень усвояемости >80%), доля которого существенно возрастает после удаления масла (жмыхи и шроты) и оболочки [8]. Оболочка рапса содержит много грубой клетчатки, фитиновой кислоты, фенолов, танина и других антиалиментарных веществ [9]. Высокая доля клетчатки (шелухи) в жмыхах и шротах накладывает ограничения на их использование [10].

**Рис. 1.** Химический состав семян рапса и продуктов их переработки: СВ — сухое вещество, СЗ — сырая зола, СП — сырой протеин, СЖ — сырой жир, СК — сырая клетчатка, СШ — семена шелушенные, ШР — шрот рапса экстракционный [7]

**Fig. 1.** Chemical composition of rapeseed seeds and their processed products: СВ — dry matter, СЗ — crude ash, СП — crude protein, СЖ — crude fat, СК — crude fiber, СШ — husked seeds, ШР — rapeseed meal extraction [7]



**Рис. 2.** Схема анатомического строения семян рапса<sup>1</sup>  
**Fig. 2.** Diagram of the anatomical structure of rapeseed



<sup>1</sup> Храним маслосемена рапса правильно. Ч. 2. Факторы высокой лежкости. Наше сельское хозяйство. 2022; 17(289) : 30–40. <https://elibrary.ru/item.asp?id=49595823>

<sup>2</sup> Инструкция по хранению зерна, маслосемян, муки и крупы (приказ Министерства хлебопродуктов СССР от 24 июня 1988 года № 185). <https://base.garant.ru/57499681/>

Антипитательными веществами, сдерживающими широкое применение рапса в пищевой промышленности и кормопроизводстве, являются глюкозинолаты, наличие которых придает продуктам горький вкус [2, 11]. Вместе с тем в значительной части влияние антипитательных факторов можно снизить за счет таких технологических процессов, как обрушение (предварительное удаление оболочки) и (или) гидротермическая обработка.

Эффективность обрушения семян рапса во многом определяется их физико-механическими и технологическими характеристиками. Процесс обрушения осложняет плотное прилегание семенной оболочки к семядолям (ядру) (рис. 2).

Семена рапса относятся к мелкосемянным, диаметр семени в среднем колеблется от 0,9 до 2,2 мм, масса 1000 семян — от 2,5 до 5,0 г у яровой формы и от 4,0 до 7,0 г — у озимой [12]. При этом значительная часть семени приходится на оболочку — 16–20% от его массы. Эффективность процесса отделения семенной оболочки от ядра определяется их влажностью и прочностными свойствами. Наиболее оптимальным для обрушения является повышенная сухость оболочки при пластичности ядра, достаточной для сохранения его целостности.

Изотерма равновесного влагосодержания рапса (рис. 3) сопоставима с изотермой для мелкосемянного льна, но при этом она, например, несколько выше, чем у конопли [13].

Увеличение содержания масла имеет обратную корреляцию с равновесной влажностью семян, при этом структура оболочки имеет значительно большую гигроскопичность, чем ядро.

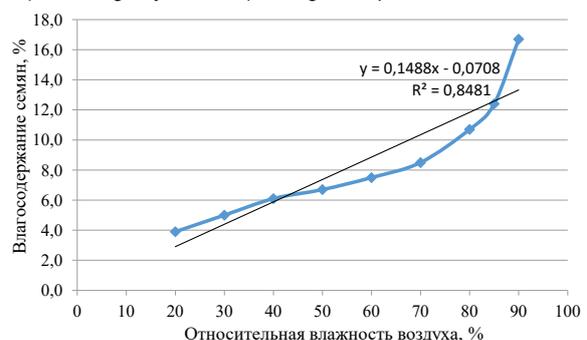
В качестве модели для равновесного влагосодержания семян рапса может быть использована, например, модель Освина в виде [14, 15]:

$$U(\varphi) = U_{\neq} \varphi / [100(1 - \varphi/100)K] \quad (1)$$

где  $\varphi$  — относительная влажность воздуха, %.

**Рис. 3.** Равновесное влагосодержание семян рапса (в среднем по сортам) при десорбции<sup>2</sup>

**Fig. 3.** The equilibrium moisture content of rapeseed seeds (on average by varieties) during desorption



В ходе определения коэффициентов модели их значения составили, соответственно,  $U_{\psi} = 10,9$  и  $K = 0,032$  при  $R^2 = 0,985$ .

В целом предварительное отделение ядра от оболочек (обрушение) стоит рассматривать как один из основных процессов улучшения технологий получения пищевых и кормовых рапсoproductов высокого качества [16, 17]. В частности, существенно повышается выход масла за счет исключения его адсорбции оболочками, улучшаются его качественные характеристики. Одновременно возрастает производительность маслоэкстракционного оборудования за счет снижения его загрузки низкомасличным балластным материалом. Выработываемый по данной технологии шрот богат белком и может успешно применяться в качестве высокобелкового сырья для нужд перерабатывающей промышленности [18].

Данный факт особенно актуален, учитывая, что, по имеющимся прогнозам, дефицит белка в питании населения планеты к 2050 г. будет составлять более 30 млн т в год [19]. В связи с этим многими специалистами отмечается, что развитие технологий переработки семян масличных культур в целом и рапса в частности в современных условиях приобретает существенное значение и способствует проведению отдельных исследовательских работ.

*Цель работы* — изучение в лабораторных условиях различных режимов дробления семян рапса и их последующего фракционирования с выделением белково-жировой компоненты в виде дробленого ядра и оболочек.

#### Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования выполняли в 2023–2025 гг. в условиях Научно-технического центра Группы компаний «Мелком», лаборатории переработки лубяных культур ФНЦ ЛК и кафедры агробиотехнологий, перерабатывающих производств и семеноводства Тверской ГСХА (г. Тверь).

Объект исследований — семена ярового рапса 00-типа, выращенные в Центральном районе России, соответствующие требованиям ГОСТ 10583-76<sup>3</sup>. Фракционный состав семян рапса определяли ситовым анализом (сита штампованные с круглыми отверстиями), руководствуясь требованиями ГОСТ 30483-97<sup>4</sup>.

Обрушение семян рапса проводили посредством классических для мукомольно-крупяного производства операций: измельчение (дробление), ситовое и пневмосепарирование [3]. Стоит отметить, что в общем случае на результативность обрушения оказывают влияние последовательность операций (технологическая схема)

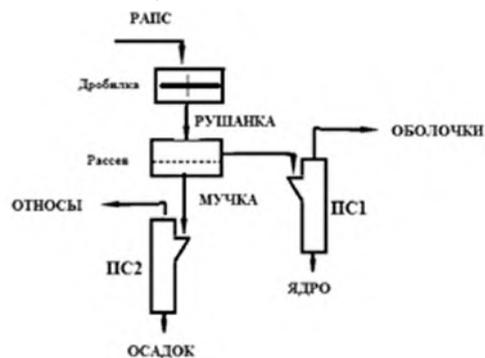
и их режимы: метод дробления и связанные с ним параметры, скорость воздуха в пневмоканалах пневмосепараторов (ПС), количество и параметры сит в отсевах. Технологические схемы обрушения семян рапса, примененные в экспериментах, представлены на рисунках 4, 5.

Дробление семян рапса в рамках эксперимента проводили на опытном образце центробежной лабораторной дробилки, специально разработанной и изготовленной для контролируемого шелушения семенных материалов, которые за счет попадания на быстровращающийся рабочий диск под действием центробежных сил разгоняются и ударяются о деку (отбойное кольцо). Интенсивность разрушения структуры семян в данном случае определяется скоростью их удара о деку. В качестве регулируемых факторов при разработке режимов дробления семян рапса выступали частота вращения рабочего диска  $N_d$  (1-й режим — 2615, 2-й режим — 3115 мин.<sup>-1</sup>) и, следовательно, скорость периферии рабочего диска  $V_{\omega}$  (1-й режим — 34, 2-й режим — 41 м/с).

Для ситового сепарирования полученной рушанки использовали лабораторные металлочные сита<sup>5, 6</sup> с обечайками из ПНД в комплекте с рассевом РЛ-5МЦ (ООО «НПП «Приборинформ»», Россия). Отвеивание оболочек производили на

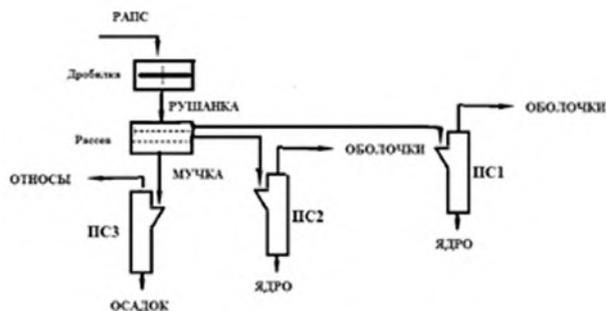
**Рис. 4.** Технологическая схема обрушения рапса (сито # 0,63 мм)

**Fig. 4.** Technological scheme of rapeseed collapse (sieve # 0.63 mm)



**Рис. 5.** Технологическая схема обрушения рапса (сита # 1,0 и 0,63 мм)

**Fig. 5.** Technological scheme of rapeseed collapse (sieves # 1.0 and 0.63 mm)



<sup>3</sup> ГОСТ 10583-76 Рапс для промышленной переработки. Технические условия.

<sup>4</sup> ГОСТ 30483-97 Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей, содержания мелких зерен и крупности, содержания зерен пшеницы, поврежденных клопом-черепашкой; содержания металломагнитной примеси.

<sup>5</sup> ГОСТ Р ИСО 5223-99 Сита лабораторные для анализа зерновых культур. Технические требования.

<sup>6</sup> ГОСТ Р 51568 Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. Технические условия.

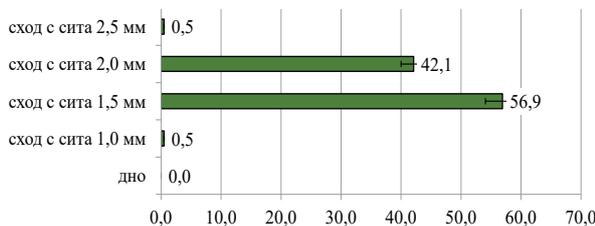
лабораторном пневмосепараторе Petkus K-293 (PETKUS Technologie GmbH, Германия) с контролируемой при помощи анемометра DT-8880 (Shenzhen Everbest Machinery Industry Co., LTD, Китай) скоростью воздуха в пневмоканале.

Дополнительным этапом стало исследование возможности использования фотосепарирования для разделения рушанки с использованием фотосепаратора (ФС) «Сапсан» (ООО «Смарт Грэйд», Россия).

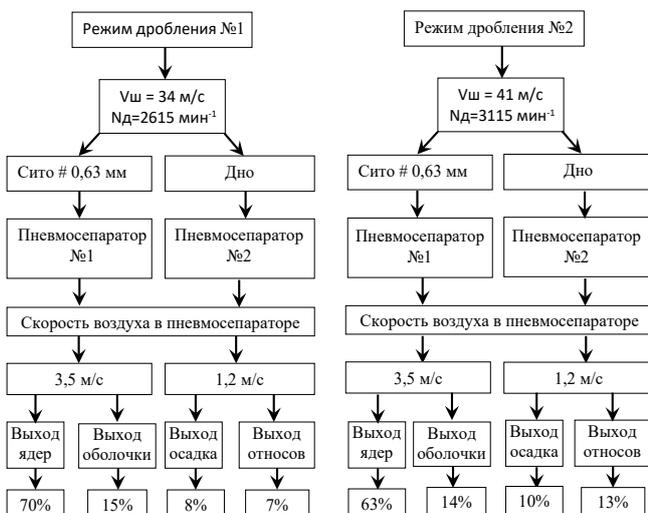
Биохимическую оценку продуктов обрушения выполняли в соответствии с действующими нормативно-методическими документами: белок по Барнштейну, так как этот метод позволяет наиболее полно установить содержание белкового азота не только в продуктах микробного синтеза, но и в однокомпонентных материалах кормового назначения [20] — ГОСТ Р 57221-2016<sup>7</sup>; жир — по ГОСТ 10857-64<sup>8</sup>; лигнин и целлюлоза — по ГОСТ ISO 13906-2013<sup>9</sup>; влажность — по ГОСТ 10856-96<sup>10</sup>.

Математическую обработку результатов исследований осуществляли с использованием прикладного программного комплекса MS Excel (США).

**Рис. 6.** Фракционный состав семян рапса, %  
**Fig. 6.** Fractional composition of rapeseed seeds, %



**Рис. 7.** Режимы обрушения семян рапса и выход продуктов (%) при переработке по схеме рисунка 4  
**Fig. 7.** Modes of rapeseed collapse and product yield (%) during processing according to the scheme of Figure 4



<sup>7</sup> ГОСТ Р 57221-2016 Дрожжи кормовые. Методы испытаний.

<sup>8</sup> ГОСТ 10857-64 Семена масличные. Метод определения масличности.

<sup>9</sup> ГОСТ ISO 13906-2013 Корма для животных. определение содержания кислотно-детергентной клетчатки (КДК) и кислотно-детергентного лигнина (КДЛ).

<sup>10</sup> ГОСТ 10856-96 Семена масличные. Метод определения влажности.

**Результаты и обсуждение / Results and discussion**

Определено, что используемые для обрушения семена рапса имели исходный фракционный состав (рис. 6).

На рисунке 7 представлены исследуемые режимы и данные по выходу продуктов обрушения по схеме рисунка 4.

При обрушении семян рапса были получены такие продукты, как ядро, мучка, оболочка. На следующем этапе мучка была разделена на фракции: осадок, отнoses. Внешний вид полученных продуктов при разных режимах представлен на рисунках 8, 9.

Из рисунков 8, 9 видно, что внешне продукты обрушения при различии режимов дробления выглядят достаточно одинаково. Вместе с тем при

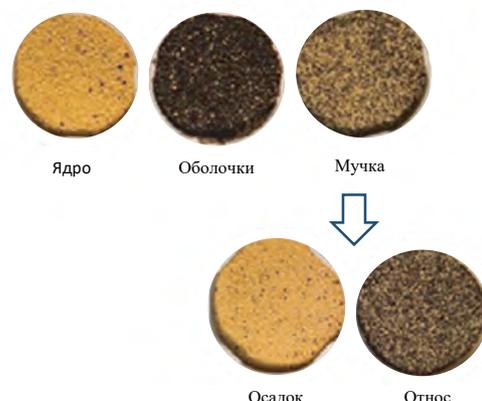
**Рис. 8.** Продукты после обрушения и пневмосепарации муки при переработке семян рапса по схеме рисунка 4 и выход продуктов на режиме 1. Фото авторов

**Fig. 8.** Products after collapse and pneumoseparation of flour during the processing of rapeseed according to the scheme of Figure 4 and the output of products in mode 1. Photo by the authors



**Рис. 9.** Продукты после обрушения и пневмосепарации муки при переработке семян рапса по схеме рисунка 4 и выход продуктов на режиме 2. Фото авторов

**Fig. 9.** Products after collapse and pneumoseparation of flour during the processing of rapeseed according to the scheme of Figure 4 and the output of products in mode 2. Photo by the authors



первом режиме несколько более засорено недо-  
рушем ядро и менее — оболочками осадок мучки.  
Как и следовало ожидать, с возрастанием скоро-  
сти удара семян о деку наблюдаются возрастание  
доли мучки и снижение доли ядра и оболочек. Од-  
нако на указанных режимах дробления было полу-  
чено практически одинаковое суммарное количе-  
ство наиболее ценных продуктов — ядра и осадка  
мучки. Общее содержание ядра и осадка составило  
порядка 75%.

Характеристики режимов, используемых при  
реализации обрушения семян рапса по схеме ри-  
сунка 5, и их влияние на выход фракций материа-  
лов даны в таблице 1.

Натурные результаты обрушения семян рапса  
по схеме рисунка 5 представлены на рисунке 10.

Общий процент выхода ядра и осадка при  
реализации второй схемы обрушения составил  
82,6%.

В таблице 2 представлены химические харак-  
теристики фракций, полученных при обрушении  
семян рапса по схеме рисунка 5. Анализ получен-  
ных материалов выявил их различия по содержа-  
нию белка и жира, подтвердив возможность вы-  
деления белково-жировой фракции из продуктов  
обрушения семян рапса. Выделенное очищенное  
ядро богато белком (21,7%) и жиром (37,4%) и яв-  
ляется основным сырьем для получения рапсово-  
го масла высокого качества. При этом обезжирен-  
ная фракция ядра представляет ценный источник  
белка, в котором отсутствуют антипитательные  
вещества, прежде всего лигнин и другие феноль-  
ные соединения, находящиеся в оболочке семян  
рапса. Осадок мучки представляет дополнитель-  
ный продукт фракционирования с высоким содер-  
жанием белка.

Улучшение процесса разделения ядра и обо-  
лочек при эксплуатации пневмосепараторов до-  
стигается посредством увеличения скорости воз-  
душного потока. Однако указанное изменение  
рабочего режима имеет недостаток в виде со-  
кращения выхода ядра. Повысить уровень очист-  
ки ядра от оболочек удастся за счет повышения  
скорости воздуха при пневмосепарировании со-  
ответствующих фракций, но при этом будет сни-  
жаться выход ядра [21].

Стоит отметить, что снизить прочностные харак-  
теристики оболочки семян представляется воз-  
можным за счет предварительного подсушивания

**Таблица 1. Режимы обрушения семян рапса и выход  
продуктов при переработке по схеме рисунка 5**  
*Table 1. Modes of rapeseed collapse and yield of products  
during processing according to the scheme in Figure 5*

Сито #, мм	№ ПС	Скорость воздуха в ПС, м/с	Продукт	Выход, %
–	–	–	Исходное семя	100,0
1,0	1	4,5	Ядро	65,8 ± 3,29
			Оболочки	6,3 ± 0,32
0,63	2	3,5	Ядро	12,1 ± 0,61
			Оболочки	6,3 ± 0,32
Дно	3	1,2	Осадок	4,7 ± 0,24
			Относы	4,8 ± 0,24

**Рис. 10.** Продукты обрушения рапса по схеме рисунка 5:  
1 — ядро (сход с сита #1 мм, ПС 1); 2 — ядро (сход с сита  
#0,63 мм, ПС 2); 3 — осадок (дно, ПС 3); 4 — относ (дно,  
ПС 3); 5 — оболочки (сход с сита #0,63 мм, ПС 2);  
6 — оболочки (сход с сита #1 мм, ПС 1). Фото авторов

**Fig. 10.** Rapeseed collapse products according to the scheme  
of Figure 5: 1 — core (exit from the sieve #1 mm, ПС 1);  
2 — core (exit from the sieve #0.63 mm, ПС 2); 3 — sediment  
(bottom, ПС 3); 4 — relative (bottom, ПС 3); 5 — shells (exit  
from the sieve #0.63 mm, ПС 2); 6 — shells (exit from the sieve  
#1 mm, ПС 1). Photo by the authors



семенного материала, приводящего к охрупчива-  
нию оболочки. В плане оптимизации технологи-  
ческого режима это позволяет в первую очередь  
снизить эффективную скорость периферии дис-  
ка дробилки и увеличить долю крупной фракции  
ядра.

В результате отдельных исследований было  
установлено, что для разделения ядра и примеси,  
имеющих ярко выраженное цветовое различие,  
возможно успешно использовать фотосепари-  
рующие установки. Так, в частности, было опреде-  
лено, что в системе RGB спектры ядра и оболочек

**Таблица 2. Химический состав фракций обрушения семян рапса по схеме рисунка 5**  
*Table 2. Chemical composition of rapeseed collapse fractions according to the scheme of Figure 5*

Объект	№ ПС	Содержание, %				
		белок	жир	лигнин	целлюлоза	влажность
Исходное семя	–	20,7 ± 1,04	36,6 ± 1,83	6,2 ± 0,31	7,2 ± 0,36	3,8 ± 0,19
Ядро	1+2	21,7 ± 1,09	37,4 ± 1,87	–	–	2,6 ± 0,13
Осадок	3	21,8 ± 1,09	15,0 ± 0,75	0,7 ± 0,04	1,7 ± 0,09	3,2 ± 0,16
Оболочка	1+2	17,2 ± 0,86	3,3 ± 0,17	30,0 ± 1,50	13,1 ± 0,66	5,3 ± 0,27
Относы	3	17,4 ± 0,87	11,6 ± 0,58	29,4 ± 1,47	12,7 ± 0,64	5,6 ± 0,28

Таблица 3. Режимы фотосепарации рушанки семян рапса

Table 3. Modes of photoseparation of collapsed rapeseed

Объект	R	G	B
Ядро	16320	16064	10176
Оболочки	5056	2624	2944

существенно различаются, как это к примеру видно из данных таблицы 3.

На рисунке 11 представлены результаты очистки ядра рапса после его обрушения и последующего фотосепарирования на установке «Сапсан» (режимы: окно — 8, число пикселей — 20, чувствительность — 5).

Примечательно, что ядро после извлечения масла может найти широкое применение не только в качестве самостоятельного высокобелкового сырья для обогащения различных продуктов, но и служить материалом для экстрагирования белка с получением белкового концентрата или изолята, которые могут успешно использоваться в пищевой промышленности при изготовлении хлебобулочных и иных изделий, сбалансированных по аминокислотному составу [19, 22–24].

### Выводы/Conclusions

В результате работы установлено, что посредством оптимизации процесса обрушения семян рапса возможно выделение из них более 80% белково-жирового продукта. Непосредственно ядро используется для извлечения масла с последующим использованием вторичных продуктов в виде высокобелкового сырья для пищевой и кормовой промышленности. Другие фракции, которые в сумме составляют около 20%, после дополнительного пневмосепарирования могут быть применены в кормах.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены при поддержке Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (НИОКТР № 125022102817-9).

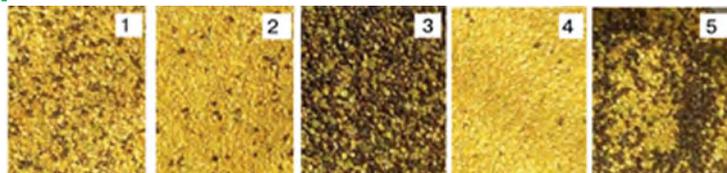
### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Fetzer A., Herfellner T., Eisner P. Rapeseed protein concentrates for non-food applications prepared from pre-pressed and cold-pressed press cake via acidic precipitation and ultrafiltration. *Industrial Crops and Products*. 2019; 132: 396–406. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.039>
- Zhang H. et al. Biodegradation of nitriles derived from glucosinolates in rapeseed meal by BnNIT2: a nitrilase from *Brassica napus* with wide substrate specificity. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2022; 106(7): 2445–2454. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11844-y>
- Зверев С.В., Скудова Н.А., Размочаев Е.А., Миневич И.Э. Влияние обрушения семян рапса на качество продуктов их переработки. *Комбикорма*. 2023; (11): 30–33. <https://doi.org/10.25741/2413-287X-2023-11-2-208>
- Рензяева Т.В., Рензяев А.О., Кравченко С.Н., Резниченко И.Ю. Потенциал рапсовых жмыхов в качестве сырья пищевого назначения. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2020; (2): 143–160. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.213>

Рис. 11. Продукты фотосепарации рушанки семян рапса:

1 — обрушенный рапс (100%), 2 — ядро рапса после первого прохода через ФС (77%), 3 — ядро рапса после первого прохода через ФС (23%), 4 — ядро рапса после второго прохода через ФС (74%), 5 — ядро рапса после второго прохода через ФС (3%). Фото авторов

Fig. 11. Photoseparation products of collapsed rapeseed: 1 — collapsed rapeseed (100%), 2 — rapeseed kernel after the first pass through the photoseparator (77%), 3 — rapeseed kernel after the first pass through the photoseparator (23%), 4 — rapeseed kernel after the second pass through the photoseparator (74%), 5 — rapeseed kernel ratio after the second pass through the photoseparator (3%). Photo by the authors



При разработке технологических режимов следует иметь в виду, что итоговые результаты обрушения, характеризующиеся выходом очищенной фракции ядра, определяются множественными факторами: влажностью семенного материала, скоростью рабочего органа измельчающей машины, особенностями сит, скоростью воздуха при пневмосепарации, последовательностью техпроцесса. Учитывая ярко выраженное цветовое различие ядра и примеси, для фракционирования и отделения необрушенных семян можно успешно использовать фотосепаратор. Таким образом, при сравнительно небольших потерях удастся существенно повысить качество фракции ядра при обрушивании семян рапса. Выделенное ядро богато белком (21,7%) и жиром (37,4%), но при этом в нем отсутствуют антипитательные вещества, прежде всего лигнин и другие фенольные соединения, находящиеся в оболочке семян рапса.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.

The authors declare no conflict of interest.

### FUNDING

The research was carried out with the support of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation (scientific research paper No. 125022102817-9).

### REFERENCES

- Fetzer A., Herfellner T., Eisner P. Rapeseed protein concentrates for non-food applications prepared from pre-pressed and cold-pressed press cake via acidic precipitation and ultrafiltration. *Industrial Crops and Products*. 2019; 132: 396–406. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.039>
- Zhang H. et al. Biodegradation of nitriles derived from glucosinolates in rapeseed meal by BnNIT2: a nitrilase from *Brassica napus* with wide substrate specificity. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2022; 106(7): 2445–2454. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11844-y>
- Zverev S.V., Skudova N.A., Razmochaev E.A., Minevitch I.E. The influence of rape seed hulling on the quality of the processed products. *Kombikorma*. 2023; (11): 30–33 (in Russian). <https://doi.org/10.25741/2413-287X-2023-11-2-208>
- Renzyaeva T.V., Renzyaev A.O., Kravchenko S.N., Reznichenko I.Yu. Capabilities of Rapeseed Oilcake as Food Raw Materials. *Storage and Processing of Farm Products*. 2020; (2): 143–160 (in Russian). <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.213>

5. Пахомова О.Н. Разработка и использование функционального пищевого обогатителя из жмыха рапсового. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Орел. 2014; 162.  
<https://www.elibrary.ru/svcbxt>
6. Yang Z., Huang Z., Cao L. Biotransformation technology and high-value application of rapeseed meal: a review. *Bioresources and Bioprocessing*. 2022; 9: 103.  
<https://doi.org/10.1186/s40643-022-00586-4>
7. Линденбек М. Оптимизация обработки семян рапса. Комбикорма. 2015; (9): 47–50.  
<https://www.elibrary.ru/ugxvkt>
8. Di Lena G. *et al.* Valorization Potentials of Rapeseed Meal in a Biorefinery Perspective: Focus on Nutritional and Bioactive Components. *Molecules*. 2021; 26(22): 6787.  
<https://doi.org/10.3390/molecules26226787>
9. Wang M. *et al.* A Two-step Strategy for High-Value-Added Utilization of Rapeseed Meal by Concurrent Improvement of Phenolic Extraction and Protein Conversion for Microbial Iturin A Production. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2021; 9: 735714.  
<https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.735714>
10. Kalaydzhev H. *et al.* Valorization of Rapeseed Meal: Influence of Ethanol Antinutrients Removal on Protein Extractability, Amino Acid Composition and Fractional Profile. *Waste and Biomass Valorization*. 2020; 11(6): 2709–2719.  
<https://doi.org/10.1007/s12649-018-00553-1>
11. Егорова Т.А. Глюкозинолаты рапса и рыжика: состав, концентрации, токсичность и антипитательность для птицы, методы нейтрализации: мини-обзор. *Сельскохозяйственная биология*. 2023; 58(6): 1021–1034.  
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.6.1021rus>
12. Съедин А.В. Фармакогностическое изучение рапса обыкновенного (*Brassica napus* L.). Диссертация на соискание ученой степени кандидата фармацевтических наук. Пятигорск. 2014; 167.  
<https://www.elibrary.ru/wfeocx>
13. Зверев С.В., Зубцов В.А., Сесикашвили О.Ш., Ефремов Д.П. Равновесное влагосодержание семян льна. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2019; (4): 75–78.  
<https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.4.19>
14. da Silva H.W., Rodovalho R.S. Adsorption Isotherms and Vaporization Latent Heat of Malagueta Pepper Seeds. *Cientifica*. 2016; 44(1): 5–13.  
<http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n1p5-13>
15. Зверев С.В., Зубцов В.А., Росляков Ю.Ф., Ефремов Д.П., Янова М.А. Физико-технологические свойства семян конопля. *Вестник КрасГАУ*. 2020; (11): 240–247.  
<https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-11-240-247>
16. Рензяев А.О., Кравченко С.Н. Метод переработки рапса обрушиванием семян и удалением оболочки. *Вестник КрасГАУ*. 2022; (6): 210–216.  
<https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-6-210-216>
17. Деревенко В.В., Диденко А.В. Исследование основных физико-механических свойств семян рапса как объекта обрушивания. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2024; (2–3): 82–87.  
<https://doi.org/10.26297/0579-3009.2024.2-3.13>
18. Миневич И.Э., Ушаповский В.И., Яковлева А.А., Зайцева Л.А. Влияние способа переработки семян рапса на их белковый комплекс. *Аграрная наука*. 2024; (10): 185–191.  
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-185-191>
19. Дегтярев И.А., Фоменко И.А., Мишева А.А., Серба Е.М., Машенцева Н.Г. Белковые препараты из отходов переработки рапса: обзор современного состояния и перспектив развития существующих технологий. *Пищевые системы*. 2023; 6(2): 159–170.  
<https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-159-170>
20. Суздальцева М.А., Бусыгин П.О., Лысов А.В., Васильева А.Н. Применение метода определения белка по Барнштейну при исследовании качества кормового сырья растительного и животного происхождения. *Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии*. 2023; (4): 155–158.  
<https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2023.4.155>
21. Деревенко В.В., Диденко А.В., Глущенко Г.А., Мирзозода Г.Х., Жуплев А.В. Обоснование оптимальных параметров пневмосепарирования рушанки масличных семян. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2020; (2–3): 68–73.  
<https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.2-3.18>
22. Василенко З.В., Атаханов Ш.Н., Болашенко Т.Н., Кучерова Е.Н., Трофименко Т.В. Характеристика показателей качества, белково-минерального и витаминного состава сдобной булочки с добавлением муки из жмыха рапса. *Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий*. 2023; (2): 64–74.  
<https://www.elibrary.ru/fdystz>
5. Pakhomova O.N. Development and use of a functional food fortifier from rapeseed cake. PhD (Engineering) Thesis. Orel. 2014; 162 (in Russian).  
<https://www.elibrary.ru/svcbxt>
6. Yang Z., Huang Z., Cao L. Biotransformation technology and high-value application of rapeseed meal: a review. *Bioresources and Bioprocessing*. 2022; 9: 103.  
<https://doi.org/10.1186/s40643-022-00586-4>
7. Lindenbeck M. Optimization of rapeseed seed treatment. *Kombikorma*. 2015; (9): 47–50 (in Russian).  
<https://www.elibrary.ru/ugxvkt>
8. Di Lena G. *et al.* Valorization Potentials of Rapeseed Meal in a Biorefinery Perspective: Focus on Nutritional and Bioactive Components. *Molecules*. 2021; 26(22): 6787.  
<https://doi.org/10.3390/molecules26226787>
9. Wang M. *et al.* A Two-step Strategy for High-Value-Added Utilization of Rapeseed Meal by Concurrent Improvement of Phenolic Extraction and Protein Conversion for Microbial Iturin A Production. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2021; 9: 735714.  
<https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.735714>
10. Kalaydzhev H. *et al.* Valorization of Rapeseed Meal: Influence of Ethanol Antinutrients Removal on Protein Extractability, Amino Acid Composition and Fractional Profile. *Waste and Biomass Valorization*. 2020; 11(6): 2709–2719.  
<https://doi.org/10.1007/s12649-018-00553-1>
11. Egorova T.A. Glucosinolates in rape and camelina: composition, concentrations, toxicity and anti-nutritive effects in poultry, methods of neutralization: a mini-review. *Agricultural Biology*. 2023; 58(6): 1021–1034.  
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.6.1021eng>
12. Syedin A.V. Pharmacognostic study of rapeseed (*Brassica napus* L.). PhD (Pharmaceuticals) Thesis. Pyatigorsk. 2014; 167 (in Russian).  
<https://www.elibrary.ru/wfeocx>
13. Zverev S.V., Zubtsov V.A., Sesikashvili O.S., Efremov D.P. Equilibrium moisture content of flax seeds. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2019; (4): 75–78 (in Russian).  
<https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.4.19>
14. da Silva H.W., Rodovalho R.S. Adsorption Isotherms and Vaporization Latent Heat of Malagueta Pepper Seeds. *Cientifica*. 2016; 44(1): 5–13.  
<http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n1p5-13>
15. Zverev S.V., Zubtsov V.A., Roslyakov Yu.F., Efremov D.P., Yanova M.A. Physical and technological properties of hemp seeds. *Bulletin of KrasGAU*. 2020; (11): 240–247 (in Russian).  
<https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-11-240-247>
16. Renzyaev A.O., Kravchenko S.N. Method for rapeseed processing by seed hulling and shell removal. *Bulletin of KrasGAU*. 2022; (6): 210–216 (in Russian).  
<https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-6-210-216>
17. Derevenko V.V., Didenko A.V. Research of the basic physical and mechanical properties of rapeseed as an object of collapse. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2024; (2–3): 82–87 (in Russian).  
<https://doi.org/10.26297/0579-3009.2024.2-3.13>
18. Minevich I.E., Ushchapovsky V.I., Yakovleva A.A., Zaitseva L.A. The influence of the method of processing rapeseed seeds on their protein complex. *Agrarian science*. 2024; (10): 185–191 (in Russian).  
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-185-191>
19. Degtyarev I.A., Fomenko I.A., Mizheva A.A., Serba E.M., Mashentseva N.G. Protein preparations from rapeseed processing waste: A review of the current status and development prospects of existing technologies. *Food systems*. 2023; 6(2): 159–170 (in Russian).  
<https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-159-170>
20. Suzdaltseva M.A., Busygin P.O., Lysov A.V., Vasilyeva A.N. Application of the Bernstein protein determination method in the study of the quality of feed raw materials of plant and animal origin. *Regulatory and legal regulation in veterinary medicine*. 2023; (4): 155–158 (in Russian).  
<https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2023.4.155>
21. Derevenko V.V., Didenko A.V., Glushchenko G.A., Mirzozoda G.Kh., Zhuplev A.V. Substantiation of optimum parameters of pneumatic separation of crushed oil seeds. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2020; (2–3): 68–73 (in Russian).  
<https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.2-3.18>
22. Vasilenko Z.V., Atakhanov Sh.N., Bolashenko T.N., Kucherova E.N., Trofimenko T.V. Characteristics of quality indicators, protein-mineral and vitamin composition of bun with the added rapeseed cake flour. *Vestnik of the Belarusian State University of Food and Chemical Technologies*. 2023; (2): 64–74 (in Russian).  
<https://www.elibrary.ru/fdystz>

23. Василенко З.В., Цед Е.А., Кучерова Е.Н., Трофименко Т.В. Сравнительная характеристика пищевой ценности жмыха и шрота рапсовых, полученных из семян рапса белорусской селекции. *Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий*. 2024; (1): 3–14. <https://www.elibrary.ru/amqvuu>

24. Cisneros-Yupanqui M., Chalova V.I., Kalaydzhiiev H.R., Mihaylova D., Krastanov A.I., Lante A. Preliminary Characterisation of Wastes Generated from the Rapeseed and Sunflower Protein Isolation Process and Their Valorisation in Delaying Oil Oxidation. *Food and Bioprocess Technology*. 2021; 14(10): 1962–1971. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02695-y>

#### ОБ АВТОРАХ

##### Сергей Васильевич Зверев<sup>1</sup>

доктор технических наук, профессор  
zverevsv@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-6136-1796>

##### Ирина Эдуардовна Миневиц<sup>2</sup>

доктор технических наук, главный научный сотрудник  
i.minevich@fncl.k.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8558-4257>

##### Александр Сергеевич Васильев<sup>3</sup>

доктор сельскохозяйственных наук, доцент,  
заведующий кафедрой  
vasilevtgsha@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-0936-2011>

##### Елена Николаевна Чумакова<sup>3</sup>

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент  
elena.chumakova.ne@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4664-8887>

<sup>1</sup>АО «Группа компаний «Мелком»»,  
Вокзальная ул., 9, Тверь, 170100, Россия

<sup>2</sup>Федеральный научный центр лубяных культур,  
Комсомольский пр-т, 17/56, Тверь, 170041, Россия

<sup>3</sup>Тверская государственная сельскохозяйственная академия,  
ул. Маршала Василевского (Сахарово), 7, Тверь, 170904,  
Россия

23. Vasilenko Z.V., Tsed E.A., Kucherova E.N., Trofimenko T.V. Comparative characteristics of the nutritional value of rapeseed cake and meal obtained from rapeseeds of Belarusian selection. *Vestnik of the Belarusian State University of Food and Chemical Technologies*. 2024; (1): 3–14 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/amqvuu>

24. Cisneros-Yupanqui M., Chalova V.I., Kalaydzhiiev H.R., Mihaylova D., Krastanov A.I., Lante A. Preliminary Characterisation of Wastes Generated from the Rapeseed and Sunflower Protein Isolation Process and Their Valorisation in Delaying Oil Oxidation. *Food and Bioprocess Technology*. 2021; 14(10): 1962–1971. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02695-y>

#### ABOUT THE AUTHORS

##### Sergey Vasilyevich Zverev<sup>1</sup>

Doctor of Technical Sciences, Professor  
zverevsv@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-6136-1796>

##### Irina Eduardovna Minevich<sup>2</sup>

Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher  
i.minevich@fncl.k.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8558-4257>

##### Alexander Sergeevich Vasiliev<sup>3</sup>

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department  
vasilevtgsha@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-0936-2011>

##### Elena Nikolaevna Chumakova<sup>3</sup>

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor  
elena.chumakova.ne@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4664-8887>

<sup>1</sup>JSC «Melcom» Group of Companies»,  
9 Vokzalnaya Str., Tver, 170100, Russia

<sup>2</sup>Federal Scientific Center of Bast Crops,  
17/56 Komsomolsky Prospekt, Tver, 170041, Russia

<sup>3</sup>Tver State Agricultural Academy,

7 Marshal Vasilevsky Str. (Sakharovo), Tver, 170904,  
Russia

ПРАВИТЕЛЬСТВО ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ | МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

**агро 2025**

**13-15 АВГУСТА | ЧЕЛЯБИНСК, ЛА «ТРАКТОР»**

**Станьте участником крупнейшей областной агропромышленной выставки-ярмарки!**

Для предприятий пищевой перерабатывающей промышленности участие бесплатное.

Количество мест ограничено – подайте заявку прямо сейчас!

+7 (351) 755 55 10

12+ РЕКЛАМА