

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2024-20-3-61-69>  
УДК 633.34:66-911.48:621.7.022.6



## Построение технологического процесса и конструктивная проработка многофункциональной установки для обработки нативной сои ультразвуком. Обоснование водно-сырьевой суспензии

Д.В. Макаров, Ф.Я. Рудик, О.С. Фоменко✉,  
В.С. Куценкова, А.В. Банникова

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова»;*  
*г. Саратов, Российская Федерация*  
✉fomenkoos@mail.ru

**Аннотация.** Злаковые и зернобобовые культуры обладают пористой структурой, являясь при массообменных процессах инертным носителем, содержат в себе пустоты в виде пор и устьиц, на поверхности которых находятся инородные извлекаемые вещества в твердом состоянии, в частности, белки ингибиторов трипсина и уреазы. Эти вещества, ввиду своего вредного воздействия на конечный продукт, и подлежат удалению экстрагированием. Одним из способов инактивации антипитательных веществ является ультразвуковая обработка сои. В статье рассмотрена технология инактивации ингибиторов, ухудшающих продуктивную и протеиновую ценность нативной сои. В разрабатываемой технологии преследовалась цель растворения твердого вещества – белка ингибитора сои в жидкости, осуществляемой за счет молекулярной диффузии, интенсифицирующей процессы массопередачи и массоотдачи. При создании суспензии путем смешения твердой (измельченного зерна сои) и жидкой (воды) фаз начинается проникновение молекул воды, являющихся растворителем, проникающим под действием капиллярных сил в поры и устьица обрабатываемого тела. На этом основании установлены технологические направления исследований, построена последовательность и обоснована физическая суть операций, состоящая из четырех основных этапов: измельчение зерна сои, создание суспензии «вода-соя», ультразвуковая (УЗ) обработка сои, сушка. В результате проведенных исследований установлены оптимальные технологические параметры для интенсификации процесса инактивации антипитательных веществ, содержащихся в нативной сое: степень измельчения зерна сои 0,5-1,0 мм; соотношение водно-соевой суспензии (1:1). Эффективностью разработанного технологического процесса будут факторы, воздействующие на качество получаемой продукции, длительность и энергоемкость процесса, ресурсосбережение, простота конструкции и невысокая стоимость изготовления, возможность автоматизации.

**Ключевые слова:** технологический процесс, ультразвуковая обработка, многофункциональная установка, антипитательные вещества, инактивация, потребительские свойства

**Для цитирования:** Макаров Д.В., Рудик Ф.Я., Фоменко О.С., Куценкова В.С., Банникова А.В. Построение технологического процесса и конструктивная проработка многофункциональной установки для обработки нативной сои ультразвуком. Обоснование водно-сырьевой суспензии. *Новые технологии / New technologies*. 2024;20(3):61-69. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2024-20-3-61-69>

## Construction of the technological process and design development of a multifunctional unit for processing vital soybeans with ultrasound. Feasibility of water-crude suspension

Denis V. Makarov, Felix Y. Rudik, Olga S. Fomenko✉, Vasilissa S. Kutsenkova, Anna V. Bannikova

*Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; Saratov, the Russian Federation*

✉fomenkoos@mail.ru

**Abstract** Cereals and legumes have a porous structure, being an inert carrier during mass exchange processes; they contain voids in the form of pores and stomata, on the surface of which there are foreign extractable substances in a solid state, in particular, trypsin and urease inhibitor proteins. These substances, due to their harmful effect on the final product, are subject to removal by extraction. One of the methods for inactivating anti-nutritional substances is ultrasonic treatment of soybeans.

The article discusses the technology of inactivating inhibitors that worsen food and protein value of vital soybeans. The developed technology was aimed at dissolving a solid substance - soybean inhibitor protein in a liquid, carried out due to molecular diffusion, intensifying the processes of mass transfer and mass return. When creating a suspension by mixing the solid (crushed soybean grain) and liquid (water) phases, water molecules, which are a solvent, penetrate under the action of capillary forces into the pores and stomata of the treated body, begin to penetrate. On this basis, technological directions of research have been established, a sequence has been built and the physical essence of operations has been substantiated, consisting of four main ones - grinding soybean grain, creating a "water-soybean" suspension, ultrasonic (US) treatment of soybeans, drying. As a result of the conducted research, optimal technological parameters have been established for intensifying the process of inactivation of anti-nutritional substances contained in native soybeans: the degree of grinding of soybean grains is 0.5-1.0 mm; the ratio of water-soy suspension (1:1). The efficiency of the developed technological process will be factors affecting the quality of the resulting products, the duration and energy intensity of the process, resource conservation, simplicity of design and low cost of manufacture, the possibility of automation.

**Keywords:** technological process, ultrasonic treatment, multifunctional unit, anti-nutritional substances, inactivation, consumer properties

**For citation:** Makarov D.V., Rudik F.Ya., Fomenko O.S., Kutsenkova V.S., Bannikova A.V. Construction of the technological process and design development of a multifunctional unit for processing vital soybeans with ultrasound. Feasibility of water-crude suspension. *Novye tehnologii / New technologies*. 2024;20(3): 61-69. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2024-20-3-61-69>

**Введение.** Получающая всё большее распространение в пищевой и кормовой сферах АПК такая зернобобовая культура, как соя, объясняется её неординарными свойствами, отличающимися неприхотливостью к выращиванию; достаточно высокой урожайностью во многих климатических зонах Российской Федерации; высокой пищевой и протеиновой ценностью; высокой сохранностью в течение длительных сроков хранения и др. Однако исполь-

зование нативной сои не рационально по причине достаточно высокого содержания в ней антипитательных веществ, входящих в регуляторную функцию, и состоящую из ингибитора протеаз (трипсина и химотрипсина), описываемых двумя состояниями – ингибитором Кунитца (до 70%) и ингибитором Баумана-Бирка (до 30%). В целом белки ингибиторы составляют порядка 20% от общего белкового состояния. Ингибиторы действуют совместно и ухудшают

биологическую активность протеаз и, как следствие, ухудшается ферментативная реакция расщепления белка [1-3]. В результате снижается перевариваемость белка, связываются аминокислоты и их некоторая часть (до 20%) не усваивается пищеварительным трактом. При использовании нативной сои негативно также воздействие уреазы, представляющей собой гидролитический фермент, обладающий свойством катализировать гидролиз мочевины в диоксиды углерода и аммиака. Всё описанное ведет к низкой перевариваемости сои, неприятному вяжущему вкусу и запаху. Сою необходимо инактивировать, тем самым повысить её потребительские свойства [4]. Одним из способов инактивации и является ультразвуковая обработка сои.

**Цель исследования.** Повышение качества и производительности инактивации ингибитора трипсина и уреазы при ультразвуковой обработке нативной сои.

*При проведении исследований решались следующие задачи:*

– разработать и исследовать систему построения технологического процесса и предпроектное конструктивное решение технических средств;

– обосновать эффективность среды для ультразвуковой (УЗ) обработки зерна сои и параметры водно-сырьевой суспензии.

**Материалы и методы исследований.** Методика исследований основана на базе данных, полученных в условиях лабораторных пооперационных исследований предложенного технологического процесса инактивации ингибиторов трипсина и уреазы сои; теории процессуальных явлений массопередачи и массоотдачи при обработке ультразвуком и правил проектирования многофункциональной шнековой установки в промышленных целях, представленных в ранее изданных статьях авторов [5-8].

**Результаты исследований и их обсуждение.** В соответствии с проведенными исследованиями разработана и оптимизирована пооперационная схема технологического процесса инактивации сои с целью удаления из нее антипитательных веществ – ингибитора трипсина и уреазы (рис. 1.).

Операция измельчения сои не отличается новизной, и для её реализации может быть использован любой измельчитель необходимой производительности, обеспечивающий дробление сои до нужной фракции.

Массообменные процессы предназначены для перехода вещества из одной фазы в другую за счет диффузии и движущей силы, обеспечиваемой разностью концентраций вещества между фазами рассматриваемой системы.

В разрабатываемой технологии преследовалась цель растворения твердого вещества – белка ингибитора сои в жидкости, осуществляемой за счет молекулярной диффузии, интенсифицирующей процессы массопередачи и массоотдачи. При создании суспензии путем смешения твердой (измельченного зерна сои) и жидкой (воды) фаз начинается проникновение молекул воды, являющихся растворителем, проникающим под действием капиллярных сил в поры и устья обрабатываемого тела.

Кинетика проникновения растворителя в глубину пористой части тела объясняется наличием на границе фаз концентрации раствора равной концентрации насыщения

$$c = S, \quad (1)$$

где:  $c$  – концентрация раствора, моль/л,  $c = m/V$ ; ( $m$  – количество растворенного вещества,  $V$  – объем раствора);  $S$  – растворимость вещества, моль/л,  $S = m/M \cdot V$ ; ( $M$  – молекулярная масса растворенного вещества)

$$\frac{m}{V} = \frac{m}{M \cdot V}, \quad (2)$$

Это условие и является решающим для создания на границе фаз переменных в пространстве (объеме суспензии) в функции времени и поля концентраций, обладающего свойством перемещаться и проникать вглубь пористого тела. Создаваемый поток жидкости обладает определенными диффузионными скоростными способностями, способствующими отделению растворимого вещества белка ингибитора от поверхностей пор и устьиц обрабатываемой сои и его выноса из обрабатываемой

сои. Это обуславливается, прежде всего, скоростью диффузии

$$DF = DM \cdot K_{эф}, \quad (3)$$

где:  $DM$  – коэффициент свободной молекулярной диффузии;  $K_{эф}$  – коэффициент сопротивления продвижению молекулы и выделяемого вещества о стенки капилляров и пор. Он зависит от целого ряда физико-механических и биологических свойств сои

$$K_{эф} = f(L; I; B; T), \quad (4)$$



**Рис. 1.** Технологическая схема обработки сои  
**Fig. 1.** Technological scheme of soybean processing

В итоге, важным технологическим предпроектным условием является вопрос оптимизации коэффициента сопротивле-

ния диффузии, компонентами которого являются длина пор и устьиц  $L$ ; извилистость пор и устьиц  $I$ ; блокировка продвижения

растворителя биологическим структурным строением сои  $B$ ; силы молекулярного трения растворителя о стенки пор и устьиц  $T$ . Все они управляемы путем установленной системы дробления сои.

Белок ингибитора и уреазы являются растворимыми, и поэтому при прохождении растворителя осуществляется их вынос. Этот процесс непрерывен и имеет свойство продвижения до границ окончатых пустот. Инертная же структура, состоящая из полезных макромолекул белка, аминокислот, витаминов и микроэлементов, остается в неизменном виде.

Зерно сои представляет собой пористую твердую структуру, из которой по разрабатываемой технологии следует выделить и удалить белок ингибитора трипсина. Извлечение целевых компонентов из твердых пористых тел можно осуществить ультразвуковыми колебательными движениями путем их перемещения в пространстве в течение какого-то промежутка времени. Колебательные возбуждения способны перемещаться в газообразном, жидком и твердом состоянии обрабатываемого материала. Они вызывают направленные продвижения и смещение частиц. Скорость распространения ультразвуковых колебательных движений по известным данным в среде воздуха составляет 343,1 м/с., а в жидкой среде она возрастает более чем в четыре раза до 1500 м/с. Объяснением этому является прерывистость воздуха и необходимость частого преодоления препятствий на границах фаз, создающих сопротивление волновому продвижению колебательных акустических движений. То есть у каждого очередного препятствия волна затухает и поэтапно теряет свою интенсивность [9,10].

Газообразная среда нами не рассматривается, в нашем случае ее нет. Научный интерес вызывает жидкая среда, от которой зависит скорость и, соответственно, интенсивность распространения ультразвуковых

колебаний, воздействующих на массоперенос.

В случае распространения колебательных движений в жидкости наблюдается эффект распространения направленных пульсирующих микропотоков, создаваемых акустическими волнами. При этом каждая предыдущая затухает значительно медленнее по причине постоянного импульсирующего воздействия на нее последующей волной.

Таким образом, при УЗ обработке среда играет существенную конструктивную роль, предопределяющую возможность минимизировать воздействия эффекта затухания звуковой волны по мере ее распространения. Оно обуславливается следующими параметрическими состояниями:

- от расстояния источника УЗ колебаний до поверхности обрабатываемого материала;
- от рассеяния УЗ колебаний на неоднородностях среды (связано с уменьшением потока энергии);
- от поглощения УЗ колебаний с переходом их энергии в другие формы (тепло, жидкостное и механическое трение, электрические сигналы).

Исходя из приведенных параметрических обстоятельств, можно сделать следующие конструктивные выводы:

- колебательная энергия, излучаемая акустическим источником, распространяется при обработке сои во все увеличивающуюся по времени поверхность, она уменьшается, следовательно, проходя через каждую единичную поверхность, волновая поверхность растёт от расстояния  $r$  от источника до  $r^2$ , а амплитуда колебательных движений цилиндрической формы пропорциональна  $r=1/2$ . Рассеяние УЗ колебательных движений протекает за счет изменения свойств среды (её плотности и упругости) на границе неоднородностей, размеры которых сравнимы с длиной

волны. Поглощение УЗ волны повышается за счет вязкости и теплопроводности среды;

- при прохождении УЗ колебательных движений их интенсивность зависит от плотности, вязкости и температуры обрабатываемой среды, их эффективность формируется за счет интенсивности и частоты УЗ движений. Глубина проникновения волны зависит от частоты, и она характеризуется обратно пропорциональной связью - чем меньше частота, тем выше глубина проникновения. Этим и характеризуется поглощающая способность среды, она значительно ниже в жидкости, чем в твердой и газообразной средах;

- жидкая среда обладает способностью создания под действием акустических волн постоянного движения и разряжения частиц среды, что ведёт к образованию переменного импульсного давления и, как итог, пульсирующих микропотоков. Они являются постоянными и действуют в конструктивно заданном направлении, обладают эффектом подталкивания, значительно ускоряют процесс массопередачи и, соответственно, массоотдачи выделяемого белка ингибитора трипсина. Наряду с созданием пульсирующих микропотоков в жидкой среде в области разряжения создаются кавитирующие паровоздушные пузырьки. Они имеют свойство ускорять процесс проницаемости жидкости в поры и устье. Высокое давление, создаваемое кавитационным схлопыванием, сопровождается образованием значительных сил мо-

лекулярного трения – это вызывает химическую реакцию возбуждения и разрыва молекулярных связей. Разрыв молекулярных связей, в свою очередь, ведет к образованию ионов и радикалов, молекулы воды расщепляются на водород и гидрофильную группу. Химическая реакция зарождает пероксид водорода, повышающий за счет окислительного процесса интенсивность массоотдачи. Чем выше интенсивность транспортирующей способности и процесса инактивации, тем большую УЗ интенсивность передается жидкости.

**Заключение.** Капиллярное продвижение растворителя при свободном равновесном состоянии жидкости имеет медленное развитие, возникает необходимость его ускорения интенсификаций процесса за счет дополнительных возбуждающих давлений посредством применения УЗ колебательных движений. Достаточно существенным установленным обстоятельством целесообразности использования водно-соевой суспензии является то, что среда жидкости, в отличие от твердого состояния и газа, повышает процесс массопередачи даже в свободном равновесном состоянии жидкости больше чем в 4 раза [11,12]. На основании приведенного и экспериментальных данных установлены следующие технологические параметры: степень измельчения 0,5-1,0 мм; водно-соевая суспензия (1:1), вошедшие в патент на полезную модель «Многофункциональное шнековое устройство для обработки зерновых и зернобобовых культур» [13].

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

## CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балакай Г.Т., Безуглова О. С. Соя: экология, агротехника, переработка. Ростов на/Д: Феникс; 2003.
2. Мякушко О.А., Баранов Ф.Б. Соя. М.: Колос; 2003.

3. Скурихин И.М. Химический состав российских пищевых продуктов: справочник. М.: ДеЛи принт; 2002.
4. Власов Г.П. Биodeградируемые полимеры на основе полипептидов и белков. Экология и промышленность России. 2010; 5: 67-71.
5. Устройство для обработки зерна, пивного солода, семян масличных культур: патент на полезную модель № 208531 U1 Рос. Федерация, МПК В02В 5/00 / Д.В. Макаров, Е.А. Сундуков, Ф.Я. Рудик, Н.Л. Моргунова; заявитель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»; ООО «Химмаш-Старт»; заявл. 05.04.2021; опубл. 23.12.2021
6. Рудик Ф.Я., Загородских Б.П., Моргунова Н.Л. и др. Совершенствование технологии переработки сои с использованием ультразвука. Вестник Мордовского университета. 2018; 28(2): 266-286.
7. Моргунова Н.Л., Макаров Д.В., Рудик Ф. Теоретический анализ и обоснование процесса взаимодействия гидродинамических колебательных систем при технологическом воздействии на зернобобовые культуры. Аграрный научный журнал. 2021; 9: 92-94.
8. Рудик Ф.Я., Моргунова Н.Л., Скрязина Л.Ю. Ультразвуковая обработка зерна при подготовке к помолу. Хранение и переработка сельхозсырья. 2016; 2: 53-56.
9. Моргунова Н.Л., Макаров Д.В., Рудик Ф.Я. Теоретический анализ и обоснование процесса взаимодействия гидродинамических колебательных систем при технологическом воздействии на зернобобовые культуры. Аграрный научный журнал. 2021; 9: 92-94.
10. Рудик Ф.Я., Загородских Б.П., Моргунова Н.Л. Совершенствование технологии переработки сои с использованием ультразвука. Вестник Мордовского университета. 2018; 28(2): 266-286.
11. Многофункциональное шнековое устройство для обработки зерновых и зернобобовых культур: патент на полезную модель № 223297 U1 Рос. Федерация, МПК В02В 5/02 / Ф.Я. Рудик, Н.Л. Моргунова, Д.В. Макаров и др.; заявитель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова»; № 2023134013, заявл. 20.12.2023, опубл. 13.02.2024.

## REFERENCES

1. Balakai G.T., Bezuglova O.S. Soy: Ecology, Agricultural technology, processing. Rostov on / D: Phoenix; 2003. (In Russ.)
2. Myakushko O.A., Baranov F.B. Soy. Moscow: Kolos; 2003. (In Russ.)
3. Skurikhin I.M. Chemical composition of Russian food products: reference book. Moscow: DeLi print; 2002. (In Russ.)
4. Vlasov G.P. Biodegradable polymers based on polypeptides and proteins. Ecology and industry of Russia. 2010; 5: 67-71. (In Russ.)
5. Device for processing grain, brewer's malt, oilseeds: patent for utility model No. 208531 U1 Russian Federation, IPC B02B 5/00 / D.V. Makarov, E.A. Sundukov, F.Ya. Rudik, N.L. Morgunova; applicant Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov; Khimmash-Start, LLC; declared 05/04/2021; published 23/12/2021 (In Russ.)
6. Rudik F.Ya., Zagorodskikh B.P., Morgunova N.L. et al. Improving the technology of soybean processing using ultrasound. Bulletin of the Mordovian University. 2018; 28(2): 266-286. (In Russ.)

7. Morgunova N.L., Makarov D.V., Rudik F. Theoretical analysis and substantiation of the interaction process of hydrodynamic oscillatory systems under technological impact on leguminous crops. *Agricultural Scientific Journal*. 2021; 9: 92-94. (In Russ.)

8. Rudik F.Ya., Morgunova N.L., Skryabina L.Yu. Ultrasonic treatment of grain in preparation for milling. *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2016; 2: 53-56. (In Russ.)

9. Morgunova N.L., Makarov D.V., Rudik F.Ya. Theoretical analysis and substantiation of the interaction process of hydrodynamic oscillatory systems under technological influence on leguminous crops. *Agricultural scientific journal*. 2021; 9: 92-94. (In Russ.)

10. Rudik F.Ya., Zagorodskikh B.P., Morgunova N.L. Improving the technology of soybean processing using ultrasound. *Bulletin of the Mordovian University*. 2018; 28(2): 266-286. (In Russ.)

11. Multifunctional auger device for processing grain and leguminous crops: patent for utility model No. 223297 U1 the Russian Federation, IPC B02B 5/02 / F.Ya. Rudik, N.L. Morgunova, D.V. Makarov et al.; applicant Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; No. 2023134013, declared 20.12.2023, published 13.02.2024. (In Russ.)

### Информация об авторах / Information about the authors

**Макаров Денис Вячеславович**, аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова»; 410012, Российская Федерация, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, e-mail: lmdv@inbox.ru

**Рудик Феликс Яковлевич**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова»; 410012, Российская Федерация, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, e-mail: rudik.sgau@mail.ru

**Фоменко Ольга Сергеевна**, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова»; 410012, Российская Федерация, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, e-mail: fomenkoos@mail.ru

**Куценкова Василисса Сергеевна**, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова»; 410012, Российская Федерация, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, e-mail: vasilissakutsenkova@yandex.ru

**Банникова Анна Владимировна**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова»; 410012, Российская Федерация, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, e-mail: annbannikova@gmail.com

**Denis V. Makarov**, Postgraduate student, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, the Russian Federation, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., bldg. 4, suite 3, e-mail: 1mdv@inbox.ru

**Felix Ya. Rudik**, Dr Sci. (Eng.), Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, the Russian Federation, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., bldg. 4, suite 3, e-mail: rudik.sgau@mail.ru

**Olga S. Fomenko**, PhD (Eng.), Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, the Russian Federation, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., bldg. 4, suite 3, e-mail: fomenkoos@mail.ru

**Vasilissa S. Kutsenkova**, PhD (Eng.), Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, the Russian Federation, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., bldg. 4, suite 3, e-mail: vasilissakutsenkova@yandex.ru

**Anna V. Bannikova**, Dr Sci. (Eng.), Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, the Russian Federation, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., bldg. 4, suite 3, e-mail: annbannikova@gmail.com

#### **Заявленный вклад авторов**

Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

#### **Claimed contribution of authors**

All authors of the research were directly involved in the design, execution, and analysis of the research. All authors of the article have read and approved the final version submitted.

Поступила в редакцию 16.05.2024  
Поступила после рецензирования 24.06.2024  
Принята к публикации 28.06.2024

Received 16.05.2024  
Revised 24.06.2024  
Accepted 28.06.2024