

DOI 10.54596/2958-0048-2026-2-83-96

УДК 628.4:631

МРНТИ 34.35.01

**ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ СОРГО В КОНТЕКСТЕ  
ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ**

**Зияева Г.К.<sup>1\*</sup>, Тулеубаев Ж.<sup>1</sup>, Сейтбаев К.Ж.<sup>2</sup>, Кадыр Г.<sup>1</sup>, Абдикайымова Ж.<sup>1</sup>,  
Жорабек Г.Е.<sup>1</sup>**

<sup>1\*</sup>*НАО «Таразский университет имени М.Х. Дулати», Тараз, Казахстан*

<sup>2</sup>*Международный Таразский университет имени Ш. Муртазы, Тараз, Казахстан*

*\*Автор для корреспонденции: [gk.ziayeva@dulaty.kz](mailto:gk.ziayeva@dulaty.kz)*

**Аннотация**

В данной статье рассматривается проблема управления органическими отходами агропромышленного комплекса на территории Казахстана. Основной целью проведенного исследования является разработка технологии повышения ценности шелухи сорго путём извлечения биологически активных фенольных соединений. Изучаемое растение относится к засухоустойчивым культурам, имеющее большие перспективы для выращивания в аридных зонах. В научных целях были изучены пять сортов сорго, произрастающие на территории Южного Казахстана: Вахш, Даулет, Карабаш, Сахарное сорго и Массино. Экспериментальным путём был установлен средний выход шелухи, который составляет 11,7% от массы зерна. Данный показатель соответствует образованию 117 кг вторичного сырья на 1 тонну переработанной продукции. Методика экстракции была отработана на примере сорта «Карабаш». Процесс был проведён с использованием 70%-го водного раствора этанола при температуре 50°C. Полученный экстракт имел интенсивный бордовый цвет. Спектрофотометрический анализ показал максимальное поглощение в диапазоне 500-550 нм. Показатели абсорбции выше 3,0 указывают на высокую концентрацию уникальных пигментов - 3-деоксиантоцианидинов. Проведение анализа на антиоксидантную активность показал содержание жирорастворимых и водорастворимых компонентов. Согласно проведенным расчетам, при масштабировании технологии базовый теоретический выход жидкого экстракта составляет 788,6 кг, при этом его прогнозируемое значение может достигать 906,9 кг в расчете на массу шелухи от 1 тонны зерна сорго. Результаты исследования показывают высокую эффективность использования шелухи сорго как источника натуральных красителей и природных антиоксидантов. Предложенный подход позволяет превратить сельскохозяйственные отходы в ценный ресурс. Таким образом, это приведёт к снижению нагрузки на экосистему и созданию более безопасной альтернативы синтетическим красителям. Обобщая, разработанная технология повысит экономическую и экологическую эффективность переработки агропромышленных отходов, поспособствует созданию устойчивых производственных систем на региональном уровне и обеспечит рациональное использование биоресурсов.

**Ключевые слова:** сорго (*Sorghum bicolor* L.), сельскохозяйственные отходы, фенольные соединения, антоцианы, антиоксидантная активность, натуральные красители.

**ЦИРКУЛЯРЛЫҚ ЭКОНОМИКА КОНТЕКСТІНДЕ ҚҰМАЙДЫҢ АУЫЛ  
ШАРУАШЫЛЫҒЫ ҚАЛДЫҚТАРЫН ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТИІМДІ ПАЙДАЛАНУ**

**Зияева Г.К.<sup>1\*</sup>, Тулеубаев Ж.<sup>1</sup>, Сейтбаев К.Ж.<sup>2</sup>, Кадыр Г.<sup>1</sup>, Әбдіқайымова Ж.<sup>1</sup>,  
Жорабек Г.Е.<sup>1</sup>**

<sup>1\*</sup>*«М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті» КеАҚ, Тараз, Қазақстан*

<sup>2</sup>*Ш. Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз университеті, Тараз, Қазақстан*

*\*Хат-хабар үшін автор: [gk.ziayeva@dulaty.kz](mailto:gk.ziayeva@dulaty.kz)*

**Аңдатпа**

Мақалада Қазақстанның агроөнеркәсіптік кешеніндегі органикалық қалдықтарды басқару мәселесі қарастырылады. Бұл зерттеудің мақсаты – биологиялық белсенді фенолды қосылыстарды бөліп алу

арқылы құмай қабығының құндылығын арттыру технологиясын жасау. Құмай – аридтік аймақтарда өсіруге перспективалы, құрғақшылыққа төзімді дақыл. Жұмыста Оңтүстік Қазақстанда өсірілген құмайдың бес сорты зерттелді: Дәулет, Массино, Вахш, Қантты құмай және Қарабас. Эксперименттік түрде құмай қабығының орташа шығымы дән массасының 11,7 %-ын құрайтыны анықталды. Бұл бір тонна өңделген өнімге 117 кг қайталама шикізаттың түзілуіне сәйкес келеді. Экстракция әдістемесі «Қарабас» сортының негізінде жасалды. Процесс 50°C температурада этанолдың 70%-дық сулы ерітіндісін пайдалану арқылы жүргізілді. Алынған экстракт қаныққан қою қызыл (бордо) түске ие. Спектрофотометриялық талдау 500-550 нм диапазонында максималды жұтылуды көрсетті. Абсорбция мәнінің 3,0-ден жоғары болуы бірегей пигменттер – 3-деоксиантоцианидиндердің жоғары концентрациясын растайды. Антиоксиданттық белсенділікті талдау суды еритін және майда еритін компоненттердің бар екенін көрсетті. Жүргізілген есептеулерге сәйкес, өндіріс көлемін арттыру кезінде сұйық экстрактың базалық теориялық шығымы 788,6 кг-ды құрайды, ал технологиялық ауқымын кеңейту коэффициенттерін ескере отырып, 1 тонна құмай дәннен өңдеу кезінде түзілетін қабық көлемінен алынатын өнім 906,9 кг-ға жетеді. Зерттеу нәтижелері құмай қабығын табиғи бояғыштар мен антиоксиданттардың көзі ретінде пайдаланудың тиімділігін дәлелдейді. Ұсынылған тәсіл ауыл шаруашылығы қалдықтарын құнды ресурсқа айналдыруға мүмкіндік береді. Бұл экожүйелерге түсетін салмақты азайтады және синтетикалық бояғыштарға қауіпсіз «жасыл» балама жасайды. Іске асырылатын технология агроөнеркәсіп қалдықтарын қайта өңдеудің экологиялық және экономикалық тиімділігін арттырады, аймақтық деңгейде тұрақты өндірістік жүйелердің қалыптасуына ықпал етеді және биоқауіпсіз ресурстарды тиімді пайдалануды қамтамасыз етеді.

**Кілт сөздер:** құмай (*Sorghum bicolor* L.), ауыл шаруашылығы қалдықтары, фенолды қосылыстар, антоциандар, антиоксиданттық белсенділік, табиғи бояғыштар.

**ENVIRONMENTALLY EFFICIENT UTILIZATION OF SORGHUM  
AGRICULTURAL WASTE IN THE CONTEXT OF CIRCULAR ECONOMY  
G.K. Ziyayeva<sup>1\*</sup>, Zh. Tuleubayev<sup>1</sup>, K.Zh. Seitbayev<sup>2</sup>, G. Kadyr<sup>1</sup>, Zh. Abdikayimova<sup>1</sup>,  
G.E. Zhorabek<sup>1</sup>**

<sup>1\*</sup>*«M.Kh. Dulaty Taraz University» NCJSC, Taraz, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*Sh. Murtaza International Taraz University, Taraz, Kazakhstan*

*\*Corresponding author: [gk.ziyayeva@dulaty.kz](mailto:gk.ziyayeva@dulaty.kz)*

**Abstract**

The article addresses the issue of organic waste management in the agro-industrial complex of Kazakhstan. Approximately 8.2 million tons of agricultural biomass are generated annually in the country. The implementation of circular economy principles is essential for its effective disposal. This study aims to develop a technology for the valorization of sorghum husks by extracting biologically active phenolic compounds. Sorghum is a drought-resistant crop promising for cultivation in arid zones. The study examined five sorghum varieties grown in South Kazakhstan: Daulet, Massino, Vakhsh, Sugar Sorghum, and Karabash. It was experimentally established that the average husk yield is 11.7% of the grain mass. This corresponds to the generation of 117 kg of secondary raw materials per ton of processed products. The extraction methodology was refined using the "Karabash" variety. The process was conducted using a 70% aqueous ethanol solution at a temperature of 50°C. The resulting extract has an intense burgundy color. Spectrophotometric analysis revealed a maximum absorption in the range of 500 – 550 nm. An absorbance value above 3.0 confirms a high concentration of unique pigments – 3-deoxyanthocyanidins. Antioxidant activity analysis showed the presence of water-soluble and fat-soluble components. According to the performed calculations, the base theoretical yield of the liquid extract during technology scaling amounts to 788.6 kg, and considering technological scaling coefficients, it reaches up to 906.9 kg from the volume of husks generated during the processing of 1 ton of sorghum grain. The research results prove the efficiency of using sorghum husks as a source of natural colorants and antioxidants. The proposed approach allows for the transformation of agricultural waste into a valuable resource. This reduces the environmental burden on ecosystems and provides a safe "green" alternative to synthetic dyes. The implemented technology increases the environmental and economic efficiency of agro-industrial waste recycling, contributes to the formation of sustainable production systems at the regional level, and ensures the rational use of bioresources.

**Keywords:** sorghum (*Sorghum bicolor* L.), agricultural waste, phenolic compounds, anthocyanins, antioxidant activity, natural colorants.

### Введение

Управление органическими отходами в агропромышленных комплексах, представляет собой одну из ключевых экологических задач, особенно в регионах с развитым сельским хозяйством. Ежегодно, в Казахстане образуется до 8,2 млн тонн остаточной сельскохозяйственной биомассы [1], которая создаёт большую нагрузку на окружающую среду. Традиционные методы утилизации, такие как сжигание, не имеют большой пользы и наносят вред окружающей среде, приводя к выбросам парниковых газов и загрязнению почв. Таким образом, традиционные методы утилизации отходов сельскохозяйственной биомассы приводят к нарушению естественных биохимических циклов и снижают устойчивость агроэкосистем.

В связи с этим, поиск более экологически устойчивых методов утилизации, основанных на принципах циркулярной экономики, является всё более приоритетным направлением. Среди таких подходов выделяется валоризация (создание добавленной стоимости) отходов, к которой можно отнести переработку шелухи сорго - пятой по объёму производства зерновой культуры в мире [2]. Сорго, как засухоустойчивое растение имеет большой потенциал для выращивания в аридных и семиаридных зонах Казахстана [3], что делает проблему утилизации его отходов ещё более актуальной. Экологическая ценность переработки шелухи обоснована её богатым биохимическим составом. Данное сырьё богато фенольными соединениями (флавоноидами и 3-деоксиантоцианидинами), которые характеризуются высокой антиоксидантной активностью [4, 5]. Присутствие таких биологически активных соединений превращает сельскохозяйственные отходы в ценный ресурс с богатыми возможностями использования. Извлечение и использование этих соединений позволит получить продукты, востребованные в пищевой и фармацевтической промышленности. Также, это станет примером создания экологичной технологии, снижающей антропогенное воздействие.

Фенольные соединения относятся к ключевым фитохимическим компонентам, которые проявляют антиоксидантные свойства и содержатся в основных зерновых культурах – пшенице, кукурузе, рисе, ячмене, сорго [6]. Известны методы и эксперименты, которые подтверждают высокую способность фенольных соединений предотвращать окислительные процессы и нейтрализовать свободные радикалы [7]. Высокая антиоксидантная активность цельного зерна (в особенности отрубей), связывается с профилактическим эффектом в отношении хронических заболеваний, что делает их перспективным источником натуральных антиоксидантов для пищевой промышленности [8]. Среди фенольных соединений особое внимание заслуживают антоцианы, которые относятся к природным пигментам и могут рассматриваться в роли альтернативы синтетическим красителям из-за их антиоксидантных и терапевтических свойств [9, 10, 11]. Основными ограничениями для их использования являются низкие показатели стабильности при обработке и хранении. Однако, современные исследования химических модификаций показывают, что ацилирование и гликозилирование повышают их устойчивость к теплу, свету и колебаниям уровня pH [12].

Шелуха сорго, относится к побочным продуктам переработки зёрен данного растения и представляет собой особую ценность благодаря повышенной концентрации уникальных пигментов - 3-деоксиантоцианидинов. В отличие от классических

антоцианов, данные пигменты дают насыщенные красно-коричневые и бордовые оттенки, что делает их перспективными натуральными красителями [5]. Исходя из изученных материалов, эти соединения проявляют высокую противораковую активность, которая выделяет их на общем фоне других флавоноидов [13].

Эффективность получения фенольных соединений из сорго существенно зависит от методов и технологии экстракции и по имеющимся данным, их концентрация колеблется в пределах от ~174 до ~1238 мг GAE/100г [14]. Установлено, что на выход пигментов при экстракции влияют показатели температуры, концентрации этанола и кислотность среды [15]. Изученные методы показали большую разницу при получении красящих веществ. Таким образом, традиционные методы с использованием этанола, что эффективны при 60-80°C дают меньший выход продукта, чем при применении субкритической экстракции водой или ускоренной экстракции растворителем, которые эффективны при 120-200°C [16, 17]. Это подтверждает, что выбор технологии относится к важным факторам, от которых зависит эффективность извлечения биологически активных соединений из шелухи сорго.

Целью данного исследования является разработка и экологическая оценка технологии извлечения ценных фенольных соединений из шелухи сорго, как альтернативы традиционным, экологически небезопасным методам утилизации сельскохозяйственных отходов.

#### **Материалы и методы исследования**

В качестве объектов исследования была использована шелуха пяти сортов сорго (*Sorghum bicolor* L.), выращенные на территории Южного Казахстана: Вахш, Даулет, Карабаш, Массино и Сахарное сорго.

Все лабораторные измерения проводились в трехкратной повторности (n=3). Статистическая обработка данных выполнена с использованием пакета программ MicrosoftExcel, результаты представлены как среднее арифметическое  $\pm$  стандартное отклонение (M $\pm$ SD).

Для определения процентного отношения шелухи к зёрнам для каждого сорта, были вручную очищены и взвешены зёрна и очистки. По итогам взвешивания, выход шелухи по исследованным сортам составил 11,7%, варьируя между показателями 6,36%-15,72% (Карабаш и Сахарное сорго) (таб. 1). На основании произведённых расчётов установлено, что в результате переработки 1 тонны зерна сорго в среднем образуется до 117 кг шелухи.

Таблица 1. Выход шелухи у различных сортов сорго.

Название сорта	Общая масса зерна, г	Масса шелухи, г	Доля шелухи, %
Даулет	77,14 $\pm$ 0,45	10,14 $\pm$ 0,12	13,14 $\pm$ 0,15
Массино	227,40 $\pm$ 1,10	27,40 $\pm$ 0,35	12,10 $\pm$ 0,11
Вахш-10	252,75 $\pm$ 1,50	29,75 $\pm$ 0,40	11,80 $\pm$ 0,18
Сахарное сорго	42,50 $\pm$ 0,30	6,68 $\pm$ 0,08	15,72 $\pm$ 0,22
Карабаш	72,38 $\pm$ 0,55	4,60 $\pm$ 0,06	6,36 $\pm$ 0,09
Среднее (M $\pm$ m)	134,43 $\pm$ 43,15	15,71 $\pm$ 5,30	11,83 $\pm$ 1,53

Для дальнейших исследований с применением методов экстракции был выбран сорт сорго «Карабаш», который характеризуется высокой урожайностью (рис. 1а).

Шелуха изучаемого сорта (рис. 1б) была отделена от зёрен и подготовлена к экстрагированию.



Рисунок 1. Сырьё для экстракции из сорго сорта Карабаш: (а) исходное зерно сорго; (б) шелуха, отделенная от зерна и очищенная от примесей

Количественная оценка фенольных соединений в данном исследовании проводилась на основе спектрофотометрического анализа 3-деоксиантоцианидинов и измерения антиоксидантной активности, так как основной акцент был сделан на идентификации и оценке выхода специфических красящих компонентов шелухи.

Шелуха сорта «Карабаш» была предварительно очищена от механических примесей - соломы и пыли. Исходная масса сырья для одного экспериментального образца составляла 6 г, 2 г из которых приходились на посторонние включения. Эти примеси впоследствии были удалены вручную.

Следующим шагом стала сушка растительного сырья. Для снижения влажности использовался сушильный шкаф, где 4 г очищенной шелухи расположили на 1 час при 50°C. Впоследствии, масса изучаемого образца снизилась до 3,8 г. Высушенную шелуху измельчили на лабораторной мельнице ЛЗМ-М2 и просеивали через сито с размерами ячеек 0,05 мм для получения однородной фракции. Для определения фенольных соединений из подготовленного сырья использовали принцип экстрагирования - метод конвенциональной экстракции (мацерация при нагревании). Данная методика является стандартным подходом для извлечения полифенолов из растительных матриц [15].

Для экстракции использовали колбу объёмом 250 мл. Навеску измельчённой шелухи массой 5 г заливали 50 г 70%-го этанола. В данном эксперименте соотношение сырья к растворителю составляет 1:10. Процесс производили при температуре 50°C и постоянном перемешивании в течение 7 минут. По окончании процесса, полученная смесь охлаждалась до комнатной температуры и отстаивалась через бумажный фильтр для отделения твёрдого остатка (шрота) и жидкого экстракта. Получившийся в результате спиртовой экстракт имел характерный бордовый оттенок (рис. 3).

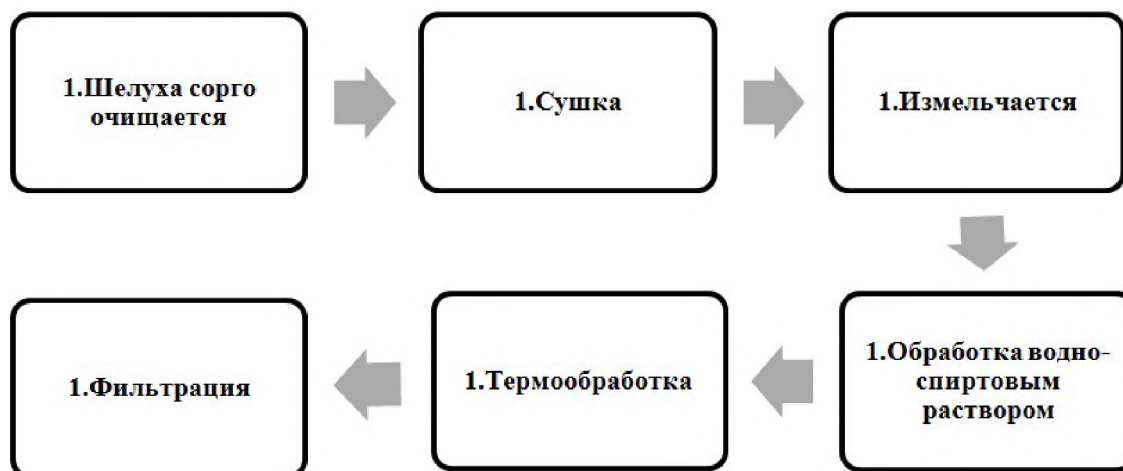


Рисунок 2. Схема получения натурального красителя из шелухи сорго

Для оценки потенциального промышленного выхода жидкого экстракта красителя, был произведен расчёт, который опирался на результаты лабораторного эксперимента. Для дальнейших исследований был выбран сорт сорго «Карабаш». Процесс получения экстракта проводили методом мацерации. Навеску измельченной шелухи массой 50 г заливали 500 мл (около 445 г) 70%-го водного раствора этанола (соотношение сырья к растворителю 1:10 по массе). Процесс проводили при температуре 50°C в течение 7 минут. После отделения твердой фазы (шрота) путем фильтрации через бумажный фильтр, масса полученного жидкого спиртового экстракта составила 337±0,001 г. Удержание части жидкости (около 32%) в пористой структуре растительного шрота является естественным технологическим фактором при данном методе экстракции. Расчёт проводился для масштабирования процесса на объём сырья, получаемого из 1 тонны зерна сорго, что в среднем составляет до 117 кг шелухи (таб. 1). Таким образом, теоретический выход экстракта ( $M_{теор}$ ) рассчитывался по формуле:

$$M_{теор.} = \frac{M_{сырья\ пром.}}{M_{сырья\ лаб.}} \times M_{экстракта\ лаб.} \quad (1)$$

### Результаты исследования

Для оценки потенциального промышленного выхода жидкого экстракта красителя был произведен расчет, опирающийся на результаты лабораторного эксперимента (получение 0,337 кг экстракта из 0,05 кг шелухи). Расчет проводился для объема сырья, получаемого из 1 тонны зерна сорго (в среднем 117 кг шелухи). Теоретический выход экстракта ( $M_{теор.}$ ) рассчитывался по формуле:

$$M_{теор.} = \frac{M_{сырья\ пром.}}{M_{сырья\ лаб.}} \times M_{экстракта\ лаб.} = \frac{117}{0,05} \times 0,337 = 788,58 \approx 788,6 \text{ кг.}$$

Таким образом, базовый теоретический выход жидкого экстракта составляет 788,58±1,56 кг. Однако при промышленном масштабировании необходимо учитывать вариативность плотности сырья и эффективность систем прессования шрота. Согласно нашим оценкам, использование технологического коэффициента масштабирования с

допустимым отклонением  $\pm 15\%$  позволяет спрогнозировать, что потенциальный практический выход экстракта может достигать 906,9 кг на 1 тонну переработанной продукции. Полученные данные подтверждают высокий ресурсный потенциал использования вторичного сырья сорго. Для более лучшего приведения данных требуются подтверждения в ходе опытно-промышленных испытаний. По итогам проведенной экстракции из 50 г шелухи сорго сорта «Карабаш» был получен гомогенный жидкий спиртовой экстракт общей массой  $0,337 \pm 0,001$  кг. Полученный продукт имеет интенсивный темно-бордовый цвет, характеризуется прозрачностью, отсутствием видимого осадка или взвесей (рис. 3).



Рисунок 3. Полученный спиртовой экстракт шелухи сорго сорта «Карабаш».

Интенсивный цвет экстракта свидетельствует об успешном извлечении фенольных соединений, в особенности флавоноидов и антоцианов. Тёмные сорта сорго содержат много фенольных веществ (флавоноидов, проантоцианидинов и др.), в следствие чего имеют яркую пигментацию и антиоксидантные показатели [13]. В ходе анализа экстракта на спектрофотометре было установлено, что основной максимум поглощения света расположен в пределах 500-550 нм. Показатель абсорбции 3.000 указывает на сильное поглощение света экстрактом. При таких показателях, через образец проходит менее 0,1% света, что указывает на задерживающую способность излучений раствором. В исследовании [18] экстракт красного сорго, выделенный в подкисленном метаноле, имел ещё большие показатели абсорбции ( $A \approx 3.74$ ), что также является подтверждением того, что тёмные антоциановые экстракты сорго обладают экстремально интенсивным поглощением. Сходные результаты были представлены в работе [19], где экстракты шелухи сорго также изучили с применением УФ-видимой спектрофотометрии. Авторами было доказано, что антоциановые экстракты демонстрируют максимальные показатели поглощения в пределах 480-540 нм, а при использовании подкисленного метанола и ионных жидкостей - пики значений смещаются в область 510-530 нм. Сходные результаты были получены в исследовании [20]. Авторы показали, что основные пигменты сорго, к которым относятся апигенидин и лутеолинидин, имеют макимальные показатели поглощения в диапазонах 480-500 нм и 500-520 нм соответственно. Данные показатели совпадают с нашими результатами в 500-550 нм, которые мы выявили в ходе нашего исследования. Это означает, что тинктур является крайне насыщенным, что приводит к тёмному окрашиванию. Подобные показатели характерны для концентрированных антоциановых экстрактов сорго, богатых пигментами фенольного типа.

Полученные спектрофотометрические данные показывают, что тинктур имеет высокую насыщенность фенольными соединениями. Максимальное поглощение и высокая абсорбция ( $A > 3.0$ ) полностью сходна с показателями антоциановых экстрактов

сорго, описанных в научной литературе. Экстракт из шелухи сорго сорта «Карабаш» действительно содержит много окрашенных и биологически активных веществ. Благодаря такому богатому биохимическому составу, его можно использовать в роли природного красителя, источника природных антиоксидантов или компонента для здоровых пищевых продуктов.

Для оценки биологической ценности экстракта, был проведён количественный анализ для определения содержания антиоксидантов.

Таблица 2. Содержание антиоксидантов в экстракте шелухи сорго.

<b>Наименование показателя, единицы измерения</b>	<b>Фактические результаты</b>	<b>Метод испытания</b>
Жирорастворимые антиоксиданты, мг/г	0,12 ± 0,002	ГОСТ Р 54037-2010
Водорастворимые антиоксиданты, мг/г	0,43 ± 0,002	ГОСТ Р 54037-2010

Приводимые данные указывают на наличие в экстракте жирорастворимых и водорастворимых антиоксидантов. Исходя из данных по концентрации антиоксидантов становится видно, что присутствие водорастворимых значительно выше, что свидетельствует о высоком антиоксидантном потенциале продукта.

#### **Обсуждение**

Проведённый анализ литературных источников подтверждает, что антоциановые пигменты в настоящее время рассматриваются как перспективная альтернатива синтетическим красителям в пищевой и смежных с нею отраслях промышленности. Повышенный интерес к данным соединениям охарактеризован их природным происхождением, а также потенциально более безопасным применением, в отличие от искусственных азокрасителей, чьё использование ассоциируется с рисками для здоровья, в особенности, в комбинациях с различными консервантами [21]. Сорго имеет в своём биохимическом составе разнообразные фенольные соединения – фенольные кислоты, конденсированные танины, флавоноиды и 3-дезоксидантоцианидины, которые входят в группу наибоеспейших антиоксидантов. Содержание данных соединений сильно коррелирует с общей антиоксидантной активностью зерна: чем выше показатели фенолатов, тем выше проявляется антиоксидантная активность, в виде захвата свободных радикалов в различных тестах.

В фиолетовых рисовых отрубях водорастворимые антиоксиданты, включая фенольные соединения и антоцианы, значительно преобладают над жирорастворимыми. Внутренняя фракция отрубей содержала в 8 раз больше антоцианов и значительно повышенные показатели гидрофильных фенолов по сравнению с внешней, что обеспечивало более высокие значения антиоксидантной активности. Липофильные соединения, такие как токолы, распределены более равномерно, однако их вклад в общую антиоксидантную активность значительно ниже. Данные показатели подтверждают, что основную долю антиоксидантной защиты фиолетовых рисовых отрубей играют водорастворимые соединения. Антоциановые пигменты, получаемые из растительного сырья, широко используются в пищевой промышленности в качестве натуральных красителей. Среди наиболее распространённых добавок можно выделить E163, которая производится из фруктовых антоцианов и используемая для окрашивания продукции в фиолетовый цвет [22]. В последние годы возрастает интерес к антоцианам из-за обеспокоенности экологичностью синтетических пищевых красителей. В

настоящее время особое внимание придаётся разработке стратегий модификации азокрасителей с целью повышения их фиксации, долговечности и устойчивости окраски. Описываемые направления являются приоритетными, так как традиционные технологии окрашивания требуют добавления значительного количества щелочей и солей, что может негативно сказаться на окружающей среде. Исследования показывают, что сочетание искусственных красителей с бензоатом натрия могут привести к развитию различных нежелательных поведенческих эффектов у детей, включая повышение гиперактивности [23]. Основываясь на данные исследования, натуральные красители рассматриваются в качестве безопасной альтернативы. Таким образом, антоцианы представляют собой перспективные пищевые красители, которые сочетают в себе технологическую эффективность и имеют более благоприятное влияние на здоровье, что обосновывает целесообразность их дальнейшего использования и изучения [24].

Однако, экстенсивное развитие отрасли сопряжено с нарастанием антропогенной нагрузки на окружающую среду. По объёму и токсичности сточных вод, текстильное производство занимает второе место среди промышленных источников загрязнения водных ресурсов, уступая некоторым показателям лишь кожевенной промышленности. Основной проблемой являются стоки процессов крашения и отделки, которые содержат неметаболизированные остатки красителей и вспомогательные химические соединения. Основываясь на этих данных, внедрение более эффективных методов очистки и перехода к принципам «зелёной химии» имеет большую важность с каждым годом [25].

Антоцианы являются биологически активными соединениями, которые широко используются в традиционной медицине и нутрицевтике. В процессе развития фармакологии, антоцианы использовались в качестве фитофармацевтических средств для стимуляции аппетита, желчегонных и терапевтических препаратов. Среди этих биохимических соединений наиболее изучены мальвидин-3-глюкозид и цианидин-3-глюкозид. Относительная биодоступность зависит в основном от структуры соединения. В данном случае, гликозиды пеонидина показывают наивысшие показатели, после которых располагаются цианидин, мальвидин, дельфинидин и петунидин. Употребление напитков богатых антоцианами, например, сока красного винограда, повышает уровень соединений в плазме и моче, при этом мальвидин-3-глюкозид имеет более высокую доступность из сока, чем из вина. Таким образом, цианидин-3-глюкозид демонстрирует примерно 12% относительной биодоступности, образуя в процессе метаболиты в виде фенольных кислот и их конъюгатов [26, 27]. Имеются данные о том, что некоторые антоцианы из чёрной смородины абсорбируются в кровоток и выводятся с мочой в гликозилированной форме, что является свидетельством сохранения части нативной структуры. К потенциальным эффектам для здоровья относятся антидиабетическое, антиоксидантное, антиангиогенное, нейропротекторное, противораковое, кардиопротекторное и антимикробное действие, улучшение зрения и регуляция массы тела [28]. Антоцианы представляют собой перспективный класс водорастворимых биохромомов, которые определяют широкую палитру оттенков растительного сырья - от красного до синего. Их добавление в состав биополимерных матриц, в особенности плёнок на основе кукурузного крахмала с экстрактами винограда и ацеролы, позволяет создавать более продвинутые упаковочные системы с функцией рН-индикации. Анализ фитохимического состава используемых tinkтуров определил преобладание гликозидов цианидина, дельфинидина и пеонидина, которые детерминируют повышенную сенсорную активность полученных материалов [24, 29].

В рамках настоящего исследования был получен антоциановый краситель и сорго, что позволяет расширить перечень растительных источников, которые рассматриваются в роли альтернативного сырья для выделки натуральных пигментов. Использование сорго представляет скорее практический интерес, поскольку данная культура характеризуется высокой урожайностью, широкой доступностью и устойчивостью к засушливым условиям, что потенциально снижает себестоимость получения антоциановых экстрактов, по сравнению с традиционными источниками, такими как ягоды или виноград. Помимо прочего, антоциановый профиль сорго может иметь отличия по соотношению гликозидов, что влияет на колористические характеристики и на стабильность пигментов.

Получение антоцианового красителя из сорго подтверждает перспективность этого растения как альтернативного источника экологических пигментов, что расширяет представление о вариативности свойств антоцианов и их эффективность в зависимости от происхождения. Полученные результаты могут быть направлены для дальнейших разработок натуральных, экологически ориентированных красителей и функциональных материалов с определёнными характеристиками.

#### **Заключение**

В ходе проведённого исследования была определена и обоснована целесообразность переработки шелухи сорго, как экологически безопасного способа утилизации сельскохозяйственных отходов. Было установлено, что в процессе переработки зёрен сорго образуется в среднем до 11,7% шелухи. Приведённые показатели являются подтверждением высокого ресурсного потенциала данного побочного продукта.

Результатом экспериментов с шелухой сорго сорта «Карабаш» является возможность получения антоцианового экстракта, путём экстрагирования 70%-м водным раствором этанола. Полученный экстракт характеризуется интенсивной окраской, а также повышенной концентрацией окрашенных фенольных соединений. Присутствие этих соединений доказано проведённым спектрофотометрическим анализом с максимальным поглощением в диапазоне 500-550 нм и значениями абсорбции выше 3,0.

Приведенный анализ по антиоксидантной активности элементов, показал содержание жирорастворимых и водорастворимых антиоксидантов, с их значительным преобладанием. Расчётный выход экстракта при переработке шелухи, полученной из 1 тонны зёрен сорго, подтверждает перспективность масштабирования предложенной технологии. Обобщая результаты исследования по проведённой работе, шелуха сорго может рассматриваться в роли перспективного вторичного сырья и использоваться для получения натуральных красителей и антиоксидантов, а разработанный подход соответствует принципам экологически ориентированных технологий.

#### **Информация о финансировании**

Данное исследование было профинансировано АО «Фонд науки» (грант на финансирование наиболее перспективных проектов коммерциализации №DP25900539).

#### **Сведения об использовании ИИ**

Во время подготовки данной рукописи авторы использовали инструменты искусственного интеллекта (ChatGPT, Gemini) для помощи в редактировании текста и переводе. Все научные интерпретации были выполнены авторами. Инструменты с поддержкой ИИ не применялись для сбора данных или статистического анализа. Все содержание материала было проверено и верифицировано авторами, которые несут полную ответственность за содержание и оригинальность рукописи.

Литература:

1. Koshim, A., Karatayev, M., Clarke, M. L., & Nock, W. (2018). Spatial assessment of the distribution and potential of bioenergy resources in Kazakhstan. *Adv. Geosci.*, 45, 217-225. <https://doi.org/10.5194/adgeo-45-217-2018>
2. Begna, T. (2022). Hybrid sorghum development mechanisms to enhance production and productivity. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences (IJRSAS)*, 8(2), 20-31. <https://doi.org/10.20431/2454-6224.0802003>
3. Румянцев А.В., Глуховцев В.В. Культура сорго в решении проблемы засухи и экономической стабильности сельского хозяйства в условиях Поволжского региона и Урала // Известия ОГАУ. – 2014. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kultura-sorgo-v-reshenii-problemy-zasuhi-i-ekonomicheskoy-stabilnosti-selskogo-hozyaystva-v-usloviyah-povolzhskogo-regiona-i-urala> (дата обращения: 10.02.2026).
4. Van Hung, P. (2016). Phenolic compounds of cereals and their antioxidant capacity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(1), 25-35. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.708909>
5. Sawadogo, O., Kaboré, D.S., Ouedraogo, M., Noba, A., Bationo, R.K., Diawara, H.Z., & Palé, E. (2024). Antioxidant activity and identification by HPLC-DAD-MS of 3-deoxyanthocyanins in the husks of *Sorghum caudatum* (L.) Moench grains from Burkina Faso. *Pharmacological Research – Natural Products*, 5, 100096. <https://doi.org/10.1016/j.prenap.2024.100096>
6. Apea Bah, F.B., Drawbridge, P., & Beta, T. (2022). A generalized method for determining free soluble phenolic acid composition and antioxidant capacity of cereals and legumes. *J. Vis. Exp.* <https://doi.org/10.3791/62467>
7. Ge, X., Jing, L., Zhao, K., Su, C., Zhang, B., Zhang, Q., Han, L., Yu, X., & Li, W. (2020). Phenolic profiles, quantitative analysis and antioxidant activity of four naked barley cultivars with different colors. *Food Chemistry*, 335, 127655. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127655>
8. Călinoiu, L.F., & Vodnar, D.C. (2018). Whole grains and phenolic acids: A review on bioactivity, functionality, health benefits and bioavailability. *Foods*, 7(10), 168. <https://doi.org/10.3390/foods7100168>
9. Mendoza-Rodríguez, M.N., Castillo-Guevara, C., Díaz-Godínez, R., & Nieto-Camacho, A. (2017). Anthocyanins as food colorants. *Mexican Journal of Biotechnology*, 2(1), 101-112. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2017.2.1.101>
10. Magalhães, D., Gonçalves, R., Rodrigues, C.V., Rocha, H.R., Pintado, M., & Coelho, M.C. (2024). Natural pigments recovery from food by-products: Health benefits towards the food industry. *Foods*, 13, 2276. <https://doi.org/10.3390/foods13122276>
11. Divya, Joshi, S., Appukuttan, J., Chandrapala, J., & Majzoobi, M. (2025). Impact of conventional and advanced techniques on stability of natural food colourants. *Foods*, 14(18), 3187. <https://doi.org/10.3390/foods14183187>
12. Gamage, G.C.V., & Choo, W.S. (2023). Thermal and pH stability of natural anthocyanin colourant preparations from black goji berry. *Food Chemistry Advances*, 2, 100236. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100236>
13. Shih, C.H., Siu, S.O., Ng, R., Wong, E., Chiu, L.C.M., Chu, I.K., & Lo, C. (2007). Quantitative analysis of anticancer 3-deoxyanthocyanidins in infected sorghum seedlings. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(2), 254-259. <https://doi.org/10.1021/jf062516t>
14. Hossain, M.S., Islam, M.N., Rahman, M.M., Mostofa, M.G., & Khan, M.A.R. (2022). Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100300>
15. Kayodé, A.P.P., Bara, C.A., Dalodé-Vieira, G., Linnemann, A.R., & Nout, M.J.R. (2012). Extraction of antioxidant pigments from dye sorghum leaf sheaths. *LWT – Food Science and Technology*, 46(1), 49-55. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.11.003>
16. Antony, A., & Farid, M. (2022). Effect of temperatures on polyphenols during extraction. *Applied Sciences*, 12(4), 2107. <https://doi.org/10.3390/app12042107>
17. Barros, F., Dykes, L., Awika, J.M., & Rooney, L.W. (2013). Accelerated solvent extraction of phenolic compounds from sorghum brans. *Journal of Cereal Science*, 58(2), 305-312. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.05.01>
18. Kumari, B., Randi, K., & Sharma, R. (2013). Classification of 3-red sorghum bran and deoxyanthocyanins and its biological properties. *Frontiers of Agriculture and Food Technology*, 1(7), 63-74.

19. Tyagi, V., Saravanan, C., Wang, Y., & Bhattacharya, B. (2021). Solvent dependency of sorghum bran phytochemicals acting as potential antioxidants and antibacterial agents. *Food Technology and Biotechnology*, 59(1), 31-43. <https://doi.org/10.17113/ftb.59.01.21.6878>
20. Awika, J.M., Rooney, L.W., & Waniska, R.D. (2004). Properties of 3-deoxyanthocyanins from sorghum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(14), 4388-4394. <https://doi.org/10.1021/jf049653f>
21. Fleischmann, K., Lienvenbrück, M., & Ritter, H. (2015). Polymers and dyes: Developments and applications. *Polymers*, 7, 717-746. <https://doi.org/10.3390/polym7040717>
22. Patel, M.J., Tandel, R.C., Sonera, S.A., & Bairwa, S.K. (2023). Trends in the synthesis and application of some reactive dyes: A review. *Brazilian Journal of Science*, 2(7), 14-29. <https://doi.org/10.14295/bjs.v2i7.350>
23. McCann, D., Barrett, A., Cooper, A., Crumpler, D., Dalen, L., Grimshaw, K., ... & Stevenson, J. (2007). Food additives and hyperactive behaviour in 3-year-old and 8/9-year-old children in the community: A randomised, double-blinded, placebo-controlled trial. *The Lancet*, 370, 1560-1567. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61306-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61306-3)
24. Christison, G.B., & MacKenzie, H.A. (1993). Laser photoacoustic determination of physiological glucose concentrations in human whole blood. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 31(3), 284-290. <https://doi.org/10.1007/BF02441938>
25. Elshahida, K., Fauzi, A., Sailah, I., & Siregar, I. (2020). Sustainable production of natural textile dyes industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 472(1), 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/472/1/012036>
26. Lapidot, T., Harel, S., Granit, R., & Kanner, J. (1998). Bioavailability of red wine anthocyanins as detected in human urine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10), 4297-4302. <https://doi.org/10.1021/jf980409t>
27. Matsumoto, H., Inaba, H., Kishi, M., Kato, M., Kondo, S., & Tsuda, T. (2001). Orally administered delphinidin 3-rutinoside and cyanidin 3-rutinoside are directly absorbed in rats and humans and appear in the blood as intact forms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(3), 1546-1551. <https://doi.org/10.1021/jf001246p>
28. Polak, N., Kalisz, S., & Kruszewski, B. (2024). High-temperature short-time and ultra-high-temperature processing of juices, nectars and beverages: Influences on enzyme, microbial inactivation and retention of bioactive compounds. *Applied Sciences*, 14, 8978. <https://doi.org/10.3390/app14198978>
29. Miyazawa, T., Nakagawa, K., Kudo, M., Muraishi, K., & Someya, K. (1999). Direct intestinal absorption of red fruit anthocyanins, cyanidin-3-glucoside and cyanidin-3,5-diglucoside, into rats and humans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(3), 1083-1091. <https://doi.org/10.1021/jf980748u>

#### References:

1. Koshim, A., Karatayev, M., Clarke, M.L., & Nock, W. (2018). Spatial assessment of the distribution and potential of bioenergy resources in Kazakhstan. *Advances in Geosciences*, 45, 217-225. <https://doi.org/10.5194/adgeo-45-217-2018>
2. Begna, T. (2022). Hybrid sorghum development mechanisms to enhance production and productivity. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*, 8(2), 20-31. <https://doi.org/10.20431/2454-6224.0802003>
3. Rumiantsev A.V., Glukhovtsev V.V. Kultura sorgo v reshenii problemy zasukhi i ekonomicheskoi stabil'nosti selskogo khoziaistva v usloviakh Povolzhskogo regiona i Urala // *Izvestia OGAU*. – 2014. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kultura-sorgo-v-reshenii-problemy-zasukhi-i-ekonomicheskoy-stabilnosti-selskogo-hozvaystva-v-usloviyah-povolzhskogo-regiona-i-urala> (data obrascheniia: 10.02.2026).
4. Van Hung, P. (2016). Phenolic compounds of cereals and their antioxidant capacity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(1), 25-35. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.708909>
5. Sawadogo, O., Kaboré, D.S., Ouedraogo, M., Noba, A., Bationo, R.K., Diawara, H.Z., & Palé, E. (2024). Antioxidant activity and identification by HPLC-DAD-MS of 3-deoxyanthocyanins in the husks of *Sorghum caudatum* (L.) Moench grains from Burkina Faso. *Pharmacological Research – Natural Products*, 5, 100096. <https://doi.org/10.1016/j.prenap.2024.100096>

6. Apea Bah, F.B., Drawbridge, P., & Beta, T. (2022). A generalized method for determining free soluble phenolic acid composition and antioxidant capacity of cereals and legumes. *J. Vis. Exp.* <https://doi.org/10.3791/62467>
7. Ge, X., Jing, L., Zhao, K., Su, C., Zhang, B., Zhang, Q., Han, L., Yu, X., & Li, W. (2020). Phenolic profiles, quantitative analysis and antioxidant activity of four naked barley cultivars with different colors. *Food Chemistry*, 335, 127655. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127655>
8. Călinoiu, L.F., & Vodnar, D.C. (2018). Whole grains and phenolic acids: A review on bioactivity, functionality, health benefits and bioavailability. *Foods*, 7(10), 168. <https://doi.org/10.3390/foods7100168>
9. Mendoza-Rodríguez, M.N., Castillo-Guevara, C., Díaz-Godínez, R., & Nieto-Camacho, A. (2017). Anthocyanins as food colorants. *Mexican Journal of Biotechnology*, 2(1), 101-112. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2017.2.1.101>
10. Magalhães, D., Gonçalves, R., Rodrigues, C.V., Rocha, H.R., Pintado, M., & Coelho, M.C. (2024). Natural pigments recovery from food by-products: Health benefits towards the food industry. *Foods*, 13, 2276. <https://doi.org/10.3390/foods13122276>
11. Divya, Joshi, S., Appukkuttan, J., Chandrapala, J., & Majzoobi, M. (2025). Impact of conventional and advanced techniques on stability of natural food colourants. *Foods*, 14(18), 3187. <https://doi.org/10.3390/foods14183187>
12. Gamage, G.C.V., & Choo, W.S. (2023). Thermal and pH stability of natural anthocyanin colourant preparations from black goji berry. *Food Chemistry Advances*, 2, 100236. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100236>
13. Shih, C.H., Siu, S.O., Ng, R., Wong, E., Chiu, L.C.M., Chu, I.K., & Lo, C. (2007). Quantitative analysis of anticancer 3-deoxyanthocyanidins in infected sorghum seedlings. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(2), 254-259. <https://doi.org/10.1021/jf062516t>
14. Hossain, M.S., Islam, M.N., Rahman, M.M., Mostofa, M.G., & Khan, M.A.R. (2022). Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100300>
15. Kayodé, A.P.P., Bara, C.A., Dalodé-Vieira, G., Linnemann, A.R., & Nout, M.J.R. (2012). Extraction of antioxidant pigments from dye sorghum leaf sheaths. *LWT – Food Science and Technology*, 46(1), 49-55. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.11.003>
16. Antony, A., & Farid, M. (2022). Effect of temperatures on polyphenols during extraction. *Applied Sciences*, 12(4), 2107. <https://doi.org/10.3390/app12042107>
17. Barros, F., Dykes, L., Awika, J.M., & Rooney, L.W. (2013). Accelerated solvent extraction of phenolic compounds from sorghum brans. *Journal of Cereal Science*, 58(2), 305-312. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.05.01>
18. Kumari, B., Randi, K., & Sharma, R. (2013). Classification of 3-red sorghum bran and deoxyanthocyanins and its biological properties. *Frontiers of Agriculture and Food Technology*, 1(7), 63-74.
19. Tyagi, V., Saravanan, C., Wang, Y., & Bhattacharya, B. (2021). Solvent dependency of sorghum bran phytochemicals acting as potential antioxidants and antibacterial agents. *Food Technology and Biotechnology*, 59(1), 31-43. <https://doi.org/10.17113/ftb.59.01.21.6878>
20. Awika, J.M., Rooney, L.W., & Waniska, R.D. (2004). Properties of 3-deoxyanthocyanins from sorghum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(14), 4388-4394. <https://doi.org/10.1021/jf049653f>
21. Fleischmann, K., Lienvénbrück, M., & Ritter, H. (2015). Polymers and dyes: Developments and applications. *Polymers*, 7, 717-746. <https://doi.org/10.3390/polym7040717>
22. Patel, M.J., Tandel, R.C., Sonera, S.A., & Bairwa, S.K. (2023). Trends in the synthesis and application of some reactive dyes: A review. *Brazilian Journal of Science*, 2(7), 14-29. <https://doi.org/10.14295/bjs.v2i7.350>
23. McCann, D., Barrett, A., Cooper, A., Crumpler, D., Dalen, L., Grimshaw, K., ... & Stevenson, J. (2007). Food additives and hyperactive behaviour in 3-year-old and 8/9-year-old children in the community: A randomised, double-blinded, placebo-controlled trial. *The Lancet*, 370, 1560-1567. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61306-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61306-3)
24. Christison, G.B., & MacKenzie, H.A. (1993). Laser photoacoustic determination of physiological glucose concentrations in human whole blood. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 31(3), 284-290. <https://doi.org/10.1007/BF02441938>

25. Elshahida, K., Fauzi, A., Sailah, I., & Siregar, I. (2020). Sustainable production of natural textile dyes industry. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 472(1), 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/472/1/012036>
26. Lapidot, T., Harel, S., Granit, R., & Kanner, J. (1998). Bioavailability of red wine anthocyanins as detected in human urine. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46(10), 4297-4302. <https://doi.org/10.1021/jf980409t>
27. Matsumoto, H., Inaba, H., Kishi, M., Kato, M., Kondo, S., & Tsuda, T. (2001). Orally administered delphinidin 3-rutinoside and cyanidin 3-rutinoside are directly absorbed in rats and humans and appear in the blood as intact forms. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49(3), 1546-1551. <https://doi.org/10.1021/jf001246p>
28. Polak, N., Kalisz, S., & Kruszewski, B. (2024). High-temperature short-time and ultra-high-temperature processing of juices, nectars and beverages: Influences on enzyme, microbial inactivation and retention of bioactive compounds. Applied Sciences, 14, 8978. <https://doi.org/10.3390/app14198978>
29. Miyazawa, T., Nakagawa, K., Kudo, M., Muraishi, K., & Someya, K. (1999). Direct intestinal absorption of red fruit anthocyanins, cyanidin-3-glucoside and cyanidin-3,5-diglucoside, into rats and humans. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47(3), 1083-1091. <https://doi.org/10.1021/jf980748u>

#### Information about the authors

**G.K. Ziyayeva** – corresponding author, Associate Professor, NCJSC «M.Kh. Dulaty Taraz University», Taraz, Kazakhstan; [gk.ziyaeva@dulaty.kz](mailto:gk.ziyaeva@dulaty.kz);

**Zh. Tuleubayev** – Professor, NCJSC «M.Kh. Dulaty Taraz University», Taraz, Kazakhstan; e-mail: [tuleubayev51@mail.ru](mailto:tuleubayev51@mail.ru);

**K.Zh. Seitbayev** – Associate Professor, Sh. Murtaza International Taraz University, Taraz, Kazakhstan; e-mail: [kuandik\\_1960@mail.ru](mailto:kuandik_1960@mail.ru);

**G. Kadyr** – 4th-year student of the educational program 6B01505-«Biology Teacher Training», NCJSC «M.Kh. Dulaty Taraz University», Taraz, Kazakhstan; e-mail: [gauhar\\_04\\_04@mail.ru](mailto:gauhar_04_04@mail.ru);

**Zh. Abdikayimova** – 4th-year student of the educational program 6B01505-«Biology Teacher Training», NCJSC «M.Kh. Dulaty Taraz University», Taraz, Kazakhstan; e-mail: [justonefuttik@gmail.com](mailto:justonefuttik@gmail.com);

**G.E. Zhorabek** – Master of Natural Sciences, NCJSC «M.Kh. Dulaty Taraz University», Taraz, Kazakhstan; e-mail: [g.zhorabek@dulaty.kz](mailto:g.zhorabek@dulaty.kz).