



ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

<http://ecobiotech-journal.ru>

УДК: 504.062.4

UDC 504.062.4

Обзор

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОМАССЫ И ОТХОДОВ ОТ ПЕРЕРАБОТКИ *PHASEOLUS VULGARIS*

Харисов Д.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия
E-mail: denizharisoff@yandex.ru

В данной статье рассматривается multifunctional использование биомассы фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.), акцентируя внимание на её потенциале в сельском хозяйстве, медицине и экологии. Оболочки стручков фасоли, традиционно считающиеся отходами, содержат белки, фенольные кислоты и другие ценные соединения, что делает их перспективным сорбционным материалом для очистки водных сред от ионов тяжелых металлов. В медицинской сфере створки фасоли используются как гипогликемическое средство благодаря комплексу аминокислот и флавоноидов, обладающих антиоксидантными свойствами. Диеты, богатые бобовыми, способствуют улучшению гликемического контроля у пациентов с сахарным диабетом. В качестве добавок к комбикормам фасоль обеспечивает высокое содержание белка, углеводов и минеральных веществ, что важно для сбалансированного рациона животных. Фиторемедиация с использованием фасоли представляет собой экономичный метод очистки почв от нефтепродуктов и других загрязнителей, хотя и требует значительного времени для достижения результатов. Исследования подчеркивают важность дальнейшего изучения различных сортов фасоли для оптимизации их применения в упомянутых областях.

Ключевые слова: *Phaseolus vulgaris* ♦ сорбционные материалы ♦ кормовые добавки ♦ сидеральные удобрения ♦ биологически активные добавки

Поступила в редакцию: 24.12.2024

[Цитировать | Cite as](#)

DOI: 10.31163/2618-964X/2025-1

EDN: JBDTEA

POSSIBILITIES OF USING BIOMASS AND WASTE FROM *PHASEOLUS VULGARIS* PROCESSING

Kharisov D.R.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia
E-mail: denizharisoff@yandex.ru

This article discusses the multifunctional use of common bean biomass (*Phaseolus vulgaris* L.), focusing on its potential in agriculture, medicine and ecology. The shells of bean pods, traditionally considered waste, contain proteins, phenolic acids and other valuable compounds, which makes them a promising sorption material for purifying aqueous media from heavy metal ions. In the medical field, bean leaves are used as a hypoglycemic agent due to a complex of amino acids and flavonoids with antioxidant properties. Diets rich in legumes help improve glycemic control in patients with diabetes mellitus. As additives to compound feeds, beans provide a high content of protein, carbohydrates and minerals, which is important for a balanced diet of animals. Phytoremediation using beans is an economical method of soil purification from petroleum products and other pollutants, although it requires considerable time to achieve results. The research highlights the importance of further study of various bean varieties to optimize their application in these areas.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* ♦ sorption materials ♦ feed additives ♦ mineral fertilizers ♦ biologically active additives

Принято в печать: 06.03.2025

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы экологии и устойчивого развития становятся всё более значимыми в современном мире. Одним из эффективных подходов к решению этих задач является использование биомассы растений и их отходов для различных целей. Фасоль занимает особое место среди сельскохозяйственных культур благодаря своей универсальности применения. Фасоль обыкновенная (*Phaseolus vulgaris* L.) – однолетнее травянистое растение семейства Бобовые (*Fabaceae*), достигающее высоты до 2 м. Корень стержневой, разветвленный. Стебель мощный, в зависимости от сортовой принадлежности, может быть длиной 0.3–2 м, прямостоячий или вьющийся. Листья очередные, тройчатые,

длинночерешковые, сердцевидные, заостренные, цельнокрайние. Цветки белого, розового или фиолетового цвета, мотылькового типа, собранные в пазушные кисти. Плод – цилиндрический боб, иногда с перетяжками, содержащий почковидные семена различной величины и окраски. Цветет фасоль в июле-августе, плодоносит в августе-сентябре [Полупанова, Качкин, 2020].

Общее мировое производство фасоли и площадь её посевов достигли значительных величин – 27.5 млн тонн и 34.8 млн гектаров соответственно. За последние три десятилетия производство сухого зерна выросло почти на 60%, а площади посевов – на 36%. Более 300 миллионов человек по всему миру регулярно включают фасоль в свой рацион [Uebersax et al., 2023]. Хотя в России фасоль не относится к основным производственным культурам, она находит широкое применение в малых и средних фермерских хозяйствах [Маркова, Гарипова, 2020]. Посевные площади под фасолью в России составляют около 4.0–4.5 тыс. га, с валовым производством около 7 тыс. т [Филиппова, Жаркова, 2024].

Цель данной обзорной статьи – представить различные аспекты использования фасоли обыкновенной, включая её применение в сельском хозяйстве, медицине, биотехнологиях и фиторемедиации. Рассмотрены возможности использования оболочек стручков фасоли как сорбентов для очистки воды от тяжёлых металлов, терапевтическое воздействие фасолевого створа, богатых биологически активными веществами, а также роль фасоли в повышении питательности кормов для животных и восстановлении загрязнённых почв.

1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАСОЛИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ БИОТЕХНОЛОГИЯХ

1.1. Сорбционные материалы для удаления металлов из водных сред

Одним из отходов от переработки биомассы фасоли являются оболочки стручков. Последние после извлечения бобов, как правило, сгнивают в ямах или буртах. Однако, определено, что в оболочках стручков *Ph. vulgaris* содержится большое количество ценных соединений, таких как белки, фенольные кислоты, флавоноиды и проантоцианидины, полисахариды и др., в которых содержатся различные функциональные группировки [Aquino-Bolaños et al., 2017]. Большое количество белков способствует возможности использования биомассы оболочек стручков фасоли в качестве сорбционного материала (СМ) для извлечения ионов тяжелых металлов из водных сред [Pandey, Saini, 2017].

В рамках исследования адсорбции ионов Cd^{2+} и Pb^{2+} измельченной нативной биомассой стручков фасоли обыкновенной (стебли, листья и листовые влагалища) установлено, что оптимальные условия для адсорбции ионов достигаются при значении pH равном 4.3. Оптимальные условия биосорбции были достигнуты при дозе биосорбента 7.4 г/л и начальной концентрации каждого металла 9.14 мг/л, при этом процент удаления Cd^{2+} и Pb^{2+} составил 87.7 и 95.6% соответственно за 20 мин и при температуре 20°C. Проведенные анализы показывают, что биосорбционное поведение обоих металлов различно при их раздельном исследовании, чем при одновременном исследовании. Факторы pH и исходной концентрации являются наиболее важными в процессе удаления обоих металлов из биметаллических растворов. Поведение биосорбции следует кинетике псевдопервого порядка. Анализ данных о равновесии выявил, что изотерма Фрейндлиха является наиболее подходящей моделью процесса биосорбции [Salazar-Pinto et al., 2020]. Другое исследование показало, что удаление ионов Pb^{2+} измельченной биомассой стручков фасоли обыкновенной возрастает с повышением значений pH, начальной концентрации, времени контакта

и температуры для биосорбента, но уменьшается с увеличением дозы адсорбента. Адсорбция соответствовала модели Ленгмюра, а кинетика адсорбции – уравнению псевдвторого порядка. Кроме того, полученные термодинамические параметры свидетельствуют о том, что процесс адсорбции является эндотермическим и самопроизвольным [Onwordi et al., 2019]. Ещё одно исследование, направленное на изучение удаления Cd^{2+} и Pb^{2+} из сточных вод с использованием биомассы фасоли обыкновенной, продемонстрировало снижение эффективности адсорбционной способности шелухи фасоли с ростом начальной концентрации, однако она увеличивается со временем контакта и увеличением дозы адсорбента. Оптимальный pH для адсорбции свинца составил 1.55, а кадмия – 4.90 [Okparaocha et al., 2020].

Исследование использования биосорбента из шелухи фасоли выявило высокую эффективность удаления Cr^{6+} , достигающую 99.9%, при условиях pH 1.16, температуре 20°C и дозировке сорбента 6 г/л. Максимальная биосорбционная способность шелухи *Ph. vulgaris* по Cr^{6+} составила 3.4314 мг/г. Данные адсорбционного равновесия соответствовали модели Фрейндлиха, что подтверждает многослойную адсорбцию ионов Cr^{6+} на биомассе *Ph. vulgaris*, а коэффициент корреляции для кинетической модели псевдвторого порядка оказался очень высоким, что показывает ее применимость в процессе адсорбции. Выявлена спонтанная и экзотермическая природа адсорбции [Srivastava et al., 2015; Srivastava et al., 2017].

В России ранее был проведен цикл работ по изучению возможности извлечения ионов Cu^{2+} , Fe^{3+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} из водных сред с использованием в качестве СМ измельченной биомассы оболочек семян и самих семян фасоли, а также оболочек стручков *Ph. vulgaris* [Воропанова, Пухова, 2014; Шайхиев и др., 2016; Воропанова, 2017].

В результате проведенных экспериментов определено, что сорбционная емкость оболочек стручков фасоли зависит от предварительной обработки СМ, величины pH раствора, от исходной концентрации раствора и температуры. Экспериментально установлено, что ионы Fe^{2+} не сорбируются семенами фасоли и ее составными частями. Выявлено, что предварительная обработка СМ влияет на кинетику адсорбции и слабо влияет на статическую обменную емкость СМ. К тому же ионы металлов могут образовывать высокомолекулярные металлоорганические соединения, которые прочно удерживаются кожицей и не переходят обратно в раствор [Воропанова, Пухова, 2014]. Предложен вероятный механизм рассматриваемых процессов сорбции, выявленный на основе анализа кинетических параметров процесса и определения лимитирующей стадии. Адсорбция описывается уравнением пленочной кинетики – внешне-диффузионная область (стадия диффузии в слое жидкости, окружающем частицу сорбента). Однако при повышении концентрации диффузия переходит в область гелевой кинетики – внутридиффузионная область (лимитирующая стадия – диффузия ионов в объеме зерна сорбента). Нагревание увеличивает эффективность адсорбции [Воропанова, Пухова, 2014; Воропанова, 2017].

Эффективность извлечения ионов Ni^{2+} сильно зависит от начальной концентрации в растворе и типа использованного экстракта. Например, наивысшая эффективность удаления наблюдается при начальной концентрации 10 мг/л (74.3%) и 1000 мг/л (96.0%) при обработке нейтральным экстрактом, в то время как при начальной концентрации 100 мг/л (80.8%) наилучшие результаты достигаются при использовании щелочного экстракта в соотношении 2:1 модельный раствор : экстракт. Было установлено, что процесс удаления ионов Ni^{2+} происходит за счет образования нерастворимых в воде комплексов

с аминокислотами и другими органическими соединениями, содержащимися в экстракте [Шайхиев и др., 2016].

Для очистки водных сред используются не только СМ. Одним из направлений очистки водных сред от поллютантов является использование экстрактов, полученных из биомассы растений и деревьев. В составе биомассы растений и, в частности, стручков фасоли находится большое количество белковых соединений, углеводов, в том числе крахмала. Данное обстоятельство должно способствовать проявлению экстрактами из биомассы *Ph. vulgaris* коагуляционно-флокуляционных свойств [Saleem, Bachmann, 2019]. При выведении ионов мышьяка из водных растворов с использованием *Ph. vulgaris* в качестве природных коагулянтов оптимальные условия для максимального удаления достигаются при pH 8 и дозе коагулянта в 2 мг. Максимальный процент удаления мышьяка у *Ph. vulgaris* составил 90%. Из-за химического родства между мышьяком и коагулянтами, используемыми в этом процессе, валентное состояние мышьяка может влиять на эффективность удаления в процессе химической коагуляции. Обнаружено, что pH является важным фактором, который оказывает прямое или косвенное влияние на результаты [Vijayarani, 2021].

1.2. Сорбционные материалы для удаление органических веществ из водных сред

В мировой литературе имеется несколько публикаций по использованию биомассы стручков фасоли для удаления красителей из водных сред. В частности, исследована адсорбция красителя марки «Acid Red 57» биомассой отходов *Ph. vulgaris*. Определено, что максимальная сорбционная емкость составила 215.13 мг/г при 20°C. Выявлено, что изотерма адсорбции хорошо описывается моделью Ленгмюра, а кинетика процесса подчиняется модели псевдвторого порядка [Tunali et al., 2007]. Также исследована адсорбция красителя марки «Acid Orange 7» оболочками стручков фасоли с варьированием параметров процесса. Определено, что максимальная сорбционная емкость составляла 0.827 мг/г при 20°C, дозировке СМ 20 г/л и начальной концентрации красителя 30 мг/л [Smaranda et al., 2016]. Химическая обработка азотной кислотой позволила увеличить сорбционные свойства модифицированных сухих отходов стручков фасоли обыкновенной, изначально не проявлявших активности по отношению к красителю флуоресцеину. Исследование проводилось с использованием как периодического, так и колонного подходов. В оптимизированных условиях была получена сорбционная емкость 36.80 мг/г. В исследовании с использованием неподвижного слоя колонки влияние размера частиц, скорости потока и начальной концентрации красителя оценивали с помощью кривых прорыва и была получена сорбционная емкость 4.35 мг/г. Адсорбция являлась экзотермической и самопроизвольной. Были протестированы различные модели равновесия, изотерма Фрейндлиха была признана наиболее подходящей [De Sá et al., 2022]. Проведенное исследование использования лигноцеллюлозных материалов, полученных из отходов бобов и фисташковых стручков путем химической и физической обработки, показало значительную адсорбцию индигокармина из водной среды в диапазоне от 1.81 мг/г до 15.35 мг/г. Кинетика адсорбции индигокармина хорошо описывается моделью нелинейной кинетики псевдо-второго порядка. Изотерма Фрейндлиха лучше всего подходит для описания усадки индигокармина на различных сорбентах. Хорошее соответствие между

экспериментальными данными и изотермой Фрейндлиха указывает на многослойную адсорбцию с гетерогенными центрами адсорбции и различной энергией [Nindjio et al., 2022].

Также изучался потенциал применения шелухи фасоли в качестве перспективного адсорбента для извлечения ибупрофена из водных растворов. Для улучшения адсорбционных свойств, шелуху фасоли обрабатывали ортофосфорной кислотой. Процесс адсорбции был оптимальным при pH 4.75 и соответствовал модели изотермы Ленгмюра с максимальной адсорбционной способностью моно слоя 50.0 мг/г при 50°C. Кинетика адсорбции подчинялась уравнению псевдотортого порядка. Термодинамический анализ показал, что процесс адсорбции был спонтанным и эндотермическим. Результаты исследования указывают на значительный потенциал шелухи фасоли как экологически чистого и эффективного адсорбента для эффективного удаления ибупрофена из водных растворов [Bello et al., 2019].

1.3. Использование фасоли при фиторемедиации почв

Фиторемедиация – активно развиваемое направление очистки почвенных покровов от различного вида поллютантов с использованием растительных организмов. Оно включает процессы деградации, иммобилизации, испарения, фильтрации и экстракции, которые протекают в органах и тканях растений. Корни растений изменяют физическую, химическую и биологическую структуру почвы, стимулируя местную микробиоту и разлагая соединения. На фиторемедиацию влияют pH, текстура и пористость почвы, засоленность, климат, а также тип и концентрация загрязняющих веществ. Несмотря на низкую стоимость, фиторемедиация имеет тот недостаток, что получение результатов занимает много времени. Растение также может погибнуть, если концентрация загрязняющих веществ превышает ту, которую оно переносит, и тот факт, что оно поглощает загрязняющие вещества, может вызвать нежелательные последствия в пищевой цепи [Cosmo et al., 2023].

Одним из перспективных подходов к очистке загрязненных нефтепродуктами почв является фиторемедиация с использованием *Ph. vulgaris*. При исследовании влияния моторного масла марки МТ-4з/8ДС на количество всхожести семян, высоту и длину листьев растений авторы выявили, что наилучшие показатели всхожести наблюдались у фасоли при концентрациях нефтепродуктов (НП) 1 и 5 г/кг. Наибольшую толерантность к НП проявили растения фасоли и сои: наблюдалось более быстрое увеличение их фитомассы по сравнению с листовым салатом. Одновременно с этим фасоль и соя продемонстрировали высокую эффективность извлечения из почвенной вытяжки моторного масла. Эффективность процесса фиторемедиации почвы (62–20%) от НП уменьшалась в ряду растений: фасоль > соя > салат [Ольшанская и др., 2022]. В другом исследовании почва, загрязненная отработанным машинным маслом (ОММ), подвергалась биостимуляции, биоаугментации и фиторемедиации. Максимальное снижение концентрации ОММ с 60 г/кг до 0.19 г/кг было зарегистрировано в почве, подвергнутой фиторемедиации фасолью через пять месяцев. Биостимуляция почвы с помощью детергента, минерального раствора и биоаугментации с применением *Xanthobacter autotrophicus* ускорила снижение концентрации ОММ [Martínez et al., 2022]. Эти данные согласуются с результатами авторов, показавших, что биостимуляция почвы, загрязненной нефтепродуктами, детергентом (Triton X-100) и минеральным раствором снизила концентрацию ОММ с 39 г/кг до 26.9 г/кг за 25 дней. Затем, фиторемедиация почвы посевом *Ph. vulgaris* с бактериями *Methylobacterium*

symbioticum [Pascual et al., 2021] и *X. autotrophicus* снизила уровень загрязнения ОММ до 1.233 г/кг за 50 дней [Miranda-Esquivel et al., 2023].

В настоящее время активно изучаются и выявляются виды растений, устойчивых к высокому содержанию тяжелых металлов в почве. Проводилась оценка фиторемедиационного потенциала бобовых с использованием *Ph. vulgaris* и *A. hypogaea*. В результате оба представителя семейства бобовых эффективно поглощают и перемещают некоторые тяжелые металлы (кадмий, медь и свинец) [Ameh et al., 2020]. В исследовании, посвященном фиторемедиации почвы загрязненной медью *Ph. vulgaris* также продемонстрировала хорошую способность извлекать тяжелые металлы из почвы [Marques et al., 2023]. Имеются данные по изучению использования фасоли и сои для фиторемедиации почв, загрязненных тяжелым металлом кадмием. Авторами было установлено, что эффективность очистки почвы фасолью и соей оказалась выше при воздействии ИК-облучения на семена растений. При увеличении концентрации металла адсорбционная емкость (A_i) увеличивалась и составила для сои 1.09–2.63 мг/кг сухой фитомассы после обработки семян УФ-излучением и 0.49–6.48 мг/кг после ИК-облучения. A_i для фасоли составила 0.68–4.71 мг/кг сухой фитомассы при УФ-облучении и 2.14–2.64 мг/кг после ИК-облучения [Баканова и др., 2017].

Высокие концентрации тяжелых металлов могут быть токсичными для растений из-за повышенной генерации активных форм кислорода (АФК), таких как O_2 , OH , H_2O_2 , а также окислительного стресса из-за дисбаланса между генерацией АФК и активностью антиоксидантных ферментов. Для минимизации воздействия АФК растения разработали сложный защитный механизм, основанный на активности антиоксидантных ферментов, таких как супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионпероксидаза и др., и фитогормонов, особенно салициловой кислоты, которые могут снижать токсичность тяжелых металлов в факторах, влияющих на усвоение этих элементов растениями фасоли. Кроме того, существуют механизмы защиты от окислительного стресса, вызванного присутствием металлов мышьяка, кадмия, ртути и свинца [Kharbech et al., 2021; Hammami et al., 2021; Hashem, Elsherif, 2019].

Хорошие фиторемедиационные свойства *Ph. vulgaris* проявляет и по отношению к агрохимикату атразину. Модель представляла собой комбинацию фиторемедиации (с использованием *Ph. vulgaris*) и биоаугментации с использованием микроорганизмов родов *Trichoderma* и *Rhizobium*. Исходная концентрация атразина составляла 33.3 мг на 50 г почвы. Было сделано четыре обработки: фасоль + *Trichoderma*; фасоль + *Rhizobium*; фасоль + *Rhizobium* + *Trichoderma* и фасоль. 25.51 мг атразина на 50 г почвы (76.6%) было удалено обработкой фасоль + *Trichoderma* за 40 дней [Madariaga-Navarrete et al., 2017].

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАСОЛИ В МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЯХ

В медицине получили распространение створки плодов (бобов), которые богаты многими ценными биологически активными веществами (БАВ). Существует множество сортов фасоли, отличающихся друг от друга по ряду характеристик: внешние признаки, сроки цветения и плодоношения и т.д. В связи с этим представляет интерес возможное применение различных сортов фасоли в медицинских целях. Створки фасоли обыкновенной содержат флавоноиды (кемпферол, гликозиды кверцетина), дубильные вещества, сапонины, фитиновую кислоту, аминокислоты, полисахариды [Полупанова, Качкин, 2020]. Створки фасоли применяются в медицине как гипогликемическое средство благодаря содержанию

комплекса аминокислот. Также известно, что створки фасоли обладают антиоксидантными свойствами, что связывают с наличием флавоноидов [Meenu et al., 2023]. Семена фасоли рекордсмены по содержанию белка. В них содержится до 30% таких аминокислот, как тирозин, лейцин, триптофан. Богата фасоль углеводами, жирами, крахмалом, витаминами С, В₆, каротином, лимонной кислотой. В стручках фасоли содержится холин, кремневая кислота, в листьях витамин С, соли Zn, Cu, Mg. Определены также танин; антоцианы; флавоноиды – кемпферол, кверцетин; органические кислоты – феруловая, синапиновая, хлорогеновые кислоты [Ranilla et al., 2007].

Бобовые могут играть решающую роль в улучшении гликемического контроля у людей с сахарным диабетом. Последние исследования демонстрируют, что диеты, богатые бобовыми, способствуют снижению уровня глюкозы, постбариатрической гипогликемии и кривых инсулинового ответа. Кроме того, блюда, в основе которых лежат бобовые, неизменно характеризуются более низкими гликемическими индексами и гликемической нагрузкой по сравнению с их контрольными аналогами. Продолжительный прием пищи в импульсном режиме значительно снижает уровни глюкозы (BG), гликозилированного гемоглобина (HbA1c), инсулина в крови натощак, маркеров резистентности к инсулину, таких как НОМА-IR, и таких показателей, как высокий уровень С-пептида. Включение бобовых в ежедневный рацион пациентов с сахарным диабетом представляется не только практичным и эффективным методом контроля состояния, но и экономически выгодным подходом в более масштабной борьбе с диабетом [Thomas et al., 2023].

Повышенное потребление бобовых связано со снижением риска развития гипертензии среди людей, не страдающих диабетом. Мета-анализ пяти обсервационных исследований показал снижение риска развития примерно на 5% при употреблении примерно 70 г бобовых в день. Потребление бобовых в пределах 55–70 г/день было связано с более низким последующим риском гипертензии [Schwingshackl et al., 2017]. Связь потребления бобовых с более низкими значениями систолического и диастолического артериального давления уже присутствует при приеме примерно трех порций по 70 граммов в неделю, что вполне осуществимо и соответствует текущим диетическим рекомендациям для людей с диабетом 2 типа. Это еще раз подтверждает текущие рекомендации по питанию, рекомендуя употребление бобовых (фасоль, горох, нут и чечевица) людям с диабетом 2 типа [Vitale et al., 2023].

Экстракт белой фасоли, являющийся ценным ингибитором альфа-амилазы, может способствовать улучшению структуры микробиоты кишечника, особенно обогащению бактерий, продуцирующих короткоцепочечные жирные кислоты (SCFA), и ингибированию условно-патогенных микроорганизмов. Это может быть дополнительным механизмом облегчения дисбиоза гликемического метаболизма у пациентов с диабетом 2 типа в дополнение к прямому ингибированию всасывания сахаридов. Более того, предполагается, что непрерывное регулирование микробиоты кишечника в течение как минимум четырех месяцев с помощью экстракта белой фасоли может быть связано с долгосрочным улучшением осложнений диабета [Feng et al., 2022].

Эксперименты на животных также продемонстрировали способность фенольных соединений фасоли снижать уровень глюкозы в крови. Так длительное пероральное введение водного экстракта стручков фасоли крысам с сахарным диабетом в дозе 200 мг/кг приводило к снижению содержания глюкозы в крови и гликозилированного гемоглобина на фоне хронической гипoinsулинемии [Halenova et al., 2019]. Другая исследовательская группа провела исследование, в котором крысы с ожирением получали водный экстракт стручков

фасоли (200 мг/кг в течение 6 недель) для оценки его воздействия против ожирения. Длительное потребление экстракта стручков *Ph. vulgaris* может привести к снижению гипергликемии и развитию резистентности к инсулину. Кроме того, была зафиксирована нормализация показателей перекисного окисления липидов и окислительную модификацию белка. Эти экспериментальные данные демонстрируют способность экстракта стручков *Ph. vulgaris* смягчить развитие ожирения [Yurchenko et al., 2020].

Фитохимическое исследование экстрактов незрелых стручков *Ph. vulgaris* выявило наличие флавоноидов, кумаринов, стеридов и тритерпенов, дубильных веществ и сапонинов. Богатство этих экстрактов вторичными метаболитами может быть причиной их антиоксидантного и сосудорасширяющего действия [Ouedraogo et al., 2023; Rodriguez et al., 2022]. Прием продуктов, содержащих бобы фасоли, предупреждает развитие осложнений, со стороны органов зрения, в том числе катаракты при сахарном диабете 2 типа. Пищевые добавки на основе *Ph. vulgaris* могут представлять собой доступную стратегию профилактики катаракты и других глазных заболеваний, ассоциированных с сахарным диабетом 2 типа, благодаря высокой концентрации антиоксидантов в семенах фасоли [Adewole et al., 2022]. Кроме того, потребление бобов идентифицировало амирин как противокатарактное средство [Pushpendra, Pushpraj, 2017].

В некоторых сортах *Ph. vulgaris* были обнаружены биоактивные фенольные соединения, такие как катехин, кемпферол и феруловая кислота, а также противоопухолевые фитохимические вещества, такие как кверцетин, протокатеховая кислота, мирицетин, нарингенин и их производные и процианидины. Полифенолы, содержащиеся в фасоли обыкновенной, обработанные консервированием, обладают химиопротекторным потенциалом, поскольку они активируют механизмы, участвующие в путях апоптоза. Фенольные соединения в фасоли обыкновенной модулируют 28 белков, связанных с процессами апоптоза [Moreno Jimenez et al., 2018]. Несколько исследований подтвердили, что богатая фасолью диета – это хорошая профилактика различных видов рака, включая рак толстой кишки, груди [Bernardi et al., 2023; Sangaramoorthy et al., 2018]. В диагностике рака поджелудочной железы эритроагглютинин *Ph. vulgaris* (PHA-E) может использоваться как потенциальный биомаркер, так как специфически распознаёт N-гликаны, расщепляющие N-ацетилглюкозамин [Sha et al., 2022].

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАСОЛИ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВОК К КОМБИКОРМАМ

В настоящее время по-прежнему актуальны поиски высокобелкового сырья, способов извлечения белков из источников, а также выбора подходящих культур для создания новых сортов. Растительный белок играет ключевую роль в питании людей и животных, имея высокую питательную ценность. Бобовые культуры занимают значительную позицию в сырьевой базе белков, содержащая от 15 до 40% белка в их семенах. Вследствие высокой кормовой ценности зернобобовые могут быть эффективно использованы в рационе животных в сочетании с низкбелковыми кормами. Рацион также может включать разнообразные формы белков, такие как изоляты, концентраты, очищенные порошки и другие. При добавлении в рацион большего количества фасоли снижается эффективность его использования. Рацион сельскохозяйственных животных должен быть оптимальным по содержанию белка, так как он играет важную роль в жизненно важных биохимических процессах. При подготовке корма для животных необходимо учитывать баланс аминокислот в рационе. Количество незаменимых аминокислот, таких как лизин, метионин, треонин,

триптофан, определяет биологическую ценность корма, и их пропорции влияют на эффективность использования белков в корме [Костикова, Мирошникова, 2018].

Семена фасоли обыкновенной могут быть использованы для добавок к комбикормам. Например, фасоль сорта Кидни. После измельчения семян было определено содержание белков, углеводов, жиров и минеральных веществ в фасолевой муке. Были обнаружены углеводы, включая редуцирующие сахара (0.3% в 1 г образца). В белковом концентрате не обнаружены углеводы и липиды. Определены минеральные вещества: фосфор (8.7%) и калий (1.8%). Содержание сырого протеина составляет 39.2%. Анализ аминокислот показал, что наибольшее количество принадлежит аргинину (1.7%) и лизину (1.6%), что соответствует рекомендуемому в кормах для животных. Количество метионина с цистеином и треонина составляет 73% от уровня лизина, но количество триптофана немного не дотягивает до стандартного нормирования в кормовом продукте [Базулева, Прутенская, 2023]. Анализ белково-фосфатного комплекса из фасоли этого же сорта выявил, что помимо фосфатов, протеинов в образцах также содержатся гликопротеиды и нуклеопротеиды. При обработке ультразвуком (УЗ) наблюдаются изменения в структуре протеиновых комплексов. Термогравиметрический анализ экстрактов фасоли, полученных без и с использованием УЗ, позволил заключить, что экстракты после обработки УЗ подвержены деградации в большей степени, что обусловлено разрушением комплексов белков с другими компонентами. Это подтверждается результатами по определению фракционного состава частиц белково-фосфатного комплекса. После обработки УЗ размеры частиц меньше (до 620 нм), чем размеры частиц, полученных простой буферной экстракцией (до 2000 нм). Белково-фосфатный комплекс УЗ-экстрактов фасоли обладает высокой ингибирующей активностью по отношению к α -амилазам и может быть использован в сельском хозяйстве в качестве консерванта фуражного зерна [Базулева и др., 2023].

В работе по исследованию влияния замены хлопкового жмыха из хлопчатника обыкновенного (*Gossypium hirsutum* L.) различными уровнями бобовой муки в рационах коз на потребление сухого вещества, переваримость, пищевое поведение, продуктивность, характеристики тушки и гематологические параметры было отмечено, что бобовая мука может быть использована в качестве добавки к кормам для жвачных животных. Двадцать кастрированных козлов породы Repartida со средней начальной массой 14.7 ± 2.0 кг разделены методом случайных блоков на четыре группы. Группы получали разные уровни замещения хлопкового жмыха бобовой мукой (0; 27.75; 64.63 и 100%) в концентрате на основе сухого вещества. Диеты имели соотношение силос: концентрат 50:50. В качестве силоса использовалась измельченная слоновая трава (*Pennisetum purpureum* S.), а в качестве концентрата – измельченная кукуруза, минеральная смесь и различные концентрации бобовой муки и хлопкового жмыха. Не было отмечено влияния обработки на потребление сухого вещества, конверсию корма, убойную массу, массу и выход туш, выход внетушевых компонентов и гематологические параметры ($P > 0.05$). Однако как для перевариваемости сухого вещества ($P = 0.001$), так и для суточного привеса ($P < 0.001$) наблюдалась отрицательная квадратичная зависимость между содержанием хлопкового жмыха и бобовой муки в рационе. Бобовая мука может быть использована в рационах коз в качестве единственного источника белкового концентрата, поскольку не влияет на основные эксплуатационные характеристики [Alves dos Santos et al., 2019].

В нескольких исследованиях изучалось влияние различных видов фасолевых продуктов на здоровье и продуктивность кур. Одно из них оценивало влияние отходов красной фасоли на продуктивность и качество яиц кур-несушек. Всего 80 кур генетической

линии Hy-Line White® были случайным образом распределены на протяжении 10 недель на два вида кормления, по восемь повторений на вид кормления и пять птиц на каждый повтор. Диетические обработки состояли из контрольной диеты и включения 15% отходов красной фасоли. Предложенная экспериментальная группа (15% отходов красной фасоли) улучшила ($P<0.05$) интенсивность откладки, вес яиц и конверсию массы, однако вызвала более высокий процент грязных яиц ($P<0.05$). Также отходы красной фасоли увеличили ($P<0.05$) толщину скорлупы яиц, однако уменьшили ($P<0.05$) пигментацию желтка яиц. Кроме того, потребление корма, уровень белка, единица Хау (отражает качественное состояние яичного белка) и прочность скорлупы не изменились в результате воздействия обработки ($P>0.05$) [Paz et al., 2023]. Другое исследование сосредоточилось на изучении влияния отварной красной фасоли в рационе кур-бройлеров на гематологические и биохимические показатели сыворотки крови. Цыплята Anak 2000 были разделены на пять групп, каждая из которых получала разный процент отварной красной фасоли в рационе (25, 50, 75, 100%). По результатам гематологических и биохимических индексов, средний объем корпускуляров (MCV) и средняя концентрация гемоглобина в корпускулах (MCHC) значительно ($P<0.05$) влияли на диетические обработки. Однако значения биохимических показателей сыворотки не были значительно ($P>0.05$) затронуты диетами. Значения альбумина (3.19 г/дл) и глобулина были наибольшими у птиц, в рационе которых было 50% отварной красной фасоли, а значения холестерина понижались с увеличением уровня включения отварной красной фасоли от 0% до 100%. Следовательно, отварная красная фасоль может быть включена в диету бройлеров до уровня 50% без каких-либо вредных последствий на кровяной профиль птиц [Yusuf et al., 2023]. Добавление полевого горошка и фасоли в рацион питания бройлеров привело к значительному увеличению живой массы (5.7–12.0%) в возрасте реализации, снижению коэффициента конверсии корма на 0.6–6.1% и снижению себестоимости единицы продукта (15.3–37.1%), а также увеличению коэффициента эффективности производства (8.70–48.54) по сравнению с контрольной группой [Proskina, Cerina, 2017].

Для изучения влияния высушенных зеленых бобов на рост и развитие кроликов, животные были разделены на пять групп: D1, D2, D3, D4, D5 содержащих 0, 10, 20, 30, 40% высушенных зеленых бобов соответственно в рационе питания. Результаты показали, что высушенный зеленые бобы содержали 2243 ккал перевариваемой энергии/кг, 12.7% сырого белка, 21.6% сырой клетчатки, 1.6% эфирного экстракта, 2.1% кальция, 0.2% фосфора и аминокислоты, таких как аспарагиновая кислота (1.0%), глутаминовая кислота (0.9%), метионин (0.1%) и лизин (0.4%) (в сыром виде). Конечная масса тела (в возрасте 15 недель) была незначительно выше при использовании тестируемых рационов (D2, D3 и D4) и значительно ниже при использовании рациона (D5) по сравнению с контрольным рационом (D1). Конверсия корма была незначительно лучше в рационах, содержащих от 10 до 30% высушенных зеленых бобов, чем в контрольном рационе, в то время как в рационе, содержащем самый высокий уровень бобов (D5), был достигнут значительно худший уровень по сравнению с контрольным рационом за весь опыт. период. Рационы, содержащие до 30% высушенных бобов, обеспечили наилучшие результаты в отношении веса перед убоем и веса разделанной тушки [El-Deghadi, 2018].

Использование зеленой массы фасоли на корм скоту может оказаться даже эффективнее, чем зерно. Растения фасоли в стадии формирования бобов в пересчете на сухое вещество содержат 14.4–17.3% сырого протеина, 27.7–31.3% клетчатки, 8.1–10.5% минеральных веществ, 38.7–42.0% безазотистых экстрактивных веществ. Раннеубранная

фасоль обыкновенная может являться кормом с высокой питательной ценностью для жвачных животных [Dejene et al., 2021].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фасоль является одним из наиболее перспективных источников биомассы, который может быть использован в различных сферах деятельности. Оболочки стручков фасоли содержат большое количество белков, что способствует возможности их использования в качестве сорбционного материала. Сорбенты из створок фасоли обладают высокой эффективностью в удалении ионов Cd^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{6+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} из воды, причем процесс адсорбции может варьироваться в зависимости от значения pH, температуры, начальной концентрации металлов и дозы сорбента. Помимо металлов сорбенты из створок фасоли способны удалять органические загрязнители, включая красители и фармацевтические вещества, из водных сред. Модификация сорбентов, например, обработкой азотной или фосфорной кислотой, позволяет улучшить её сорбционные свойства. В фиторемедиации загрязнённых почв фасоль демонстрирует высокие показатели по удалению широкого спектра поллютантов, включая нефтепродукты, тяжёлые металлы и пестициды. Её устойчивость к загрязнителям, быстрая всхожесть и рост позволяют успешно очищать почву даже при высоких концентрациях загрязнений. Совместное применение фасоли с бактериальной биоаугментацией и стимуляцией роста повышает эффективность фиторемедиации, сокращая время восстановления загрязнённой почвы. В медицине применение фасоли возможно благодаря своему уникальному составу биологически активных веществ, включающему антиоксиданты, флавоноиды, фенольные соединения, витамины и минералы. Она используется для лечения сахарного диабета, снижения риска гипертонии, борьбы с ожирением. Фасоль является перспективным источником растительного белка для добавления в комбикорма благодаря своей высокой питательности и сбалансированному составу аминокислот. Включение фасоли в рационы сельскохозяйственных животных улучшает ряд производственных характеристик, таких как прирост массы, конверсия корма и качество продукции. Особенно эффективны комбинации фасоли с другими культурами, такими как кукуруза и горох, которые дополняют друг друга по аминокислотному профилю. Перспективы дальнейших исследований связаны с необходимостью изучения различных сортов фасоли для оптимизации их применения в указанных областях. Важно продолжать исследовать возможности повышения эффективности фиторемедиации и разработки новых методов очистки окружающей среды с использованием биомассы фасоли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базулева В.А., Прутенская Е.А. Биохимический состав фасоли и белковых веществ, извлечённых из неё // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2023. № 3. С. 53–58. DOI: [10.24412/2071-6176-2023-3-54-59](https://doi.org/10.24412/2071-6176-2023-3-54-59)
2. Базулева В.А., Прутенская Е.А., Григорьев М.Е. Характеристика свойств белково-фосфатного комплекса, выделенного из *Phaseolus vulgaris* в ультразвуковом поле // Известия ТулГУ. Естественные науки. 2023. Т. 4. С. 49–56. DOI: [10.24412/2071-6176-2023-4-49-56](https://doi.org/10.24412/2071-6176-2023-4-49-56)
3. Баканова Е.М., Олышанская Л.Н., Тареева А.А., и др. Фиторемедиационная способность растений фасоли и сои по отношению к кадмию. Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства:

- сборник научных трудов по материалам V Международной научной экологической конференции, посвященной 95-летию Кубанского ГАУ. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2017. С. 366–368.
4. Воропанова Л.А., Пухова В.П. Сорбция ионов тяжёлых металлов семенами бобовых культур // Вестник Владикавказского научного центра. 2014. Т. 14. С. 57–61.
 5. Воропанова Л.А. Интенсификация процессов извлечения ионов тяжёлых металлов из промышленных сточных вод природными материалами. Владикавказ: Литера, 2017. 239 с.
 6. Костикова Н.О., Мирошникова М.П. Химический состав и энергетическая ценность зерна различных сортообразцов фасоли обыкновенной // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. Т. 4 (28). С. 38–42. DOI: [10.24411/2309-348X-2018-11047](https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-11047)
 7. Маркова О.В., Гарипова С.Р. Адаптивный потенциал сортов фасоли (*Phaseolus vulgaris* L.), возделываемых в условиях Южного Предуралья // Проблемы агрохимии и экологии. 2020. № 4. С. 40–43. DOI: [10.26178/AE.2020.78.87.007](https://doi.org/10.26178/AE.2020.78.87.007)
 8. Олышанская Л.Н., Халиева А.С., Антониу Д.Ф.М. Биоремедиация нефтезагрязненных почв. Технологии переработки отходов с получением новой продукции: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров: Вятский государственный университет, 2022. С. 192–196.
 9. Полупанова Ю.В., Качкин Ю.В. Фармакогностический анализ створок разных сортов фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.) // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2020. Т. 19. С. 163–170. DOI: [10.37903/vsgma.2020.2.21](https://doi.org/10.37903/vsgma.2020.2.21)
 10. Филиппова А.С., Жаркова С.В. Параметры продуктивности и урожайность сортообразцов фасоли обыкновенной // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024. № 6 (236). С. 5–10. DOI: [10.53083/1996-4277-2024-236-6-5-10](https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-236-6-5-10)
 11. Шайхиев И.Г., Степанова С.В., Шайхиева К.И. Удаление из модельных растворов ионов никеля экстрактами из оболочек *Phaseolus vulgaris* // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19 (8). С. 151–157.
 12. Adewole E., Ogola-Emma E., Ojo A., et al. GC-MS compound identification in *Phaseolus vulgaris* – A low-cost cataract prevention food // Food Science and Technology. 2022. V. 10. P. 112–119. DOI: [10.13189/fst.2022.100304](https://doi.org/10.13189/fst.2022.100304)
 13. Alves dos Santos M., Cordeiro A., Silva D., et al. Use of bean meal (*Phaseolus vulgaris* L.) in goat rations for meat production // Tropical Animal Health and Production. 2019. V. 51. P. 2465–2471. DOI: [10.1007/s11250-019-01965-4](https://doi.org/10.1007/s11250-019-01965-4)
 14. Ameh G., Nwamba H., Njom V., et al. Phytoremediation of heavy metals using some selected leguminous crops // Journal of Advances in Biology & Biotechnology. 2020. V. 23. P. 1–7. DOI: [10.9734/jabb/2020/v23i630159](https://doi.org/10.9734/jabb/2020/v23i630159)
 15. Aquino-Bolaños E., García-Díaz Y., Chávez-Servia J., et al. Anthocyanins, polyphenols, flavonoids and antioxidant activity in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces // Emirates Journal of Food and Agriculture. 2016. V. 28 (8). P. 581–588. DOI: [10.9755/ejfa.2016-02-147](https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-02-147)
 16. Bello O.S., Alao O.C., Alagbada T.C., et al. Biosorption of ibuprofen using functionalized bean husks // Sustainable Chemistry and Pharmacy. 2019. V. 13. P. 100151. DOI: [10.1016/j.scp.2019.100151](https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100151)
 17. Bernardi C., Macri G., Biagi M., et al. In vitro digestion of *Phaseolus vulgaris* L. cooked beans induces autophagy in colon cancer cells // Foods. 2023. V. 12. P. 839. DOI: [10.3390/foods12040839](https://doi.org/10.3390/foods12040839)

18. Cosmo B., Galeriani T., Zanetti W. Soil decontamination: bioremediation and phytoremediation // *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*. 2023. V. 17. DOI: [10.18011/bioeng.2023.v17.1086](https://doi.org/10.18011/bioeng.2023.v17.1086)
19. Dejene M., Dixon R., Duncan A., et al. Yields and the nutritive value of early-harvested common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop residues for ruminants // *Livestock Research for Rural Development*. 2021. V. 33. P. 1–8. <http://www.lrrd.org/lrrd33/9/33113mesfi.html>
20. DeSá I.C., Silva P.O., Nossol E., et al. Modified dry bean pod waste (*Phaseolus vulgaris*) as a biosorbent for fluorescein removal from aqueous media: Batch and fixed bed studies // *Journal of Hazardous Materials*. 2022. V. 424. P. 127723. DOI: [10.1016/J.JHAZMAT.2021.127723](https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2021.127723)
21. El-Deghadi A. Effect of feeding diets containing dried green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) vines on performance of growing Apri rabbits // *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*. 2018. V. 21. P. 427–441. DOI: [10.21608/ejnf.2018.75579](https://doi.org/10.21608/ejnf.2018.75579)
22. Feng Y., Zhu J., Wang Q., et al. White common bean extract remodels the gut microbiota and ameliorates type 2 diabetes and its complications: A randomized double-blinded placebo-controlled trial // *Frontiers in Endocrinology*. 2022. V. 13. DOI: [10.3389/fendo.2022.999715](https://doi.org/10.3389/fendo.2022.999715)
23. Halenova T., Raksha N., Kravchenko O., et al. Hypoglycemic activity of *Phaseolus vulgaris* (L.) aqueous extract in type 1 diabetic rats // *Current Issues in Pharmacy and Medical Sciences*. 2019. V. 32. P. 210–218. DOI: [10.2478/cipms-2019-0036](https://doi.org/10.2478/cipms-2019-0036)
24. Hammami H., Parsa M., Bayat H., et al. The behavior of heavy metals in relation to their influence on the common bean (*Phaseolus vulgaris*) symbiosis // *Environmental and Experimental Botany*. 2021. V. 193. P. 104670. DOI: [10.1016/j.envexpbot.2021.104670](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104670)
25. Hashem H., Elsherif N. Exogenous jasmonic acid induces lead stress tolerance in kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by changing amino acid profile and stimulating antioxidant defense system // *Jordan Journal of Biological Sciences*. 2019. V. 12 (3). P. 345–353.
26. Kharbech O., Hediji H., Massoud M., et al. Salicylic acid mitigates cadmium toxicity in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings by modulating cellular redox status // *Environmental and Experimental Botany*. 2021. V. 186. P. 104432. DOI: [10.1016/j.envexpbot.2021.104432](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104432)
27. Madariaga-Navarrete A., Rodríguez-Pastrana B., Villagómez R., et al. Bioremediation model for atrazine contaminated agricultural soils using phytoremediation (using *Phaseolus vulgaris* L.) and a locally adapted microbial consortium // *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*. 2017. V. 52. P. 1–9. DOI: [10.1080/03601234.2017.1292092](https://doi.org/10.1080/03601234.2017.1292092)
28. Marques A.C.R., Tiecher T.L., Brunetto G., et al. Phytoremediation of Cu-contaminated vineyard soils in Brazil: A compendium of Brazilian pot studies // *Journal of Environmental Quality*. 2023. 52. P. 1024–1036. DOI: [10.1002/jeq2.20503](https://doi.org/10.1002/jeq2.20503)
29. Martínez B.C.S., Benavides L.M., Santoyo G., et al. Biorecovery of agricultural soil impacted by waste motor oil with *Phaseolus vulgaris* and *Xanthobacter autotrophicus* // *Plants*. 2022. V. 11 (11). P. 1419. DOI: [10.3390/plants11111419](https://doi.org/10.3390/plants11111419)
30. Meenu M., Chen P., Mradula M., et al. New insights into chemical compositions and health-promoting effects of black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) // *Food Frontiers*. 2023. V. 4. P. 1019–1038. DOI: [10.1002/fft2.246](https://doi.org/10.1002/fft2.246)
31. Miranda-Esquivel N., De la Cruz J.I., Godinez-Pacheco R., et al. Bioremediation and accelerated phytoremediation of a soil impacted by a hydrocarbons mixture // *International Journal of Plant & Soil Science*. 2023. V. 35. P. 58–66. DOI: [10.9734/ijpss/2023/v35i234216](https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i234216)
32. Moreno Jiménez M., López-Barraza R., Cervantes-Cardoza V., et al. Mechanisms associated to apoptosis of cancer cells by phenolic extracts from two canned common beans varieties

- (*Phaseolus vulgaris* L.) // Journal of Food Biochemistry. 2018. V. 43. P. 12680. DOI: [10.1111/jfbc.12680](https://doi.org/10.1111/jfbc.12680)
33. Nindjio G.F.K., Tagne R.F.T., Jiokeng S.L.Z., et al. Lignocellulosic-Based Materials from Bean and Pistachio Pod Wastes for Dye-Contaminated Water Treatment: Optimization and Modeling of Indigo Carmine Sorption // Polymers. 2022. V. 14 (18). P. 3776. DOI: [10.3390/polym14183776](https://doi.org/10.3390/polym14183776)
34. Onwordi C.T., Uche C.C., Ameh A.E., et al. Comparative study of the adsorption capacity of lead (II) ions onto bean husk and fish scale from aqueous solution // Journal of Water Reuse and Desalination. 2019. V. 9 (3). P. 249–262. DOI: [10.2166/wrd.2019.061](https://doi.org/10.2166/wrd.2019.061)
35. Okparaocha F.O., Oyeleke P.B., Akinyele A.O. Removal of lead and cadmium in synthetic wastewater using *Phaseolus vulgaris* (bean) husk as a bioadsorbent // International Research Journal of Environmental Sciences. 2020. V. 9 (2). P. 1–6.
36. Ouedraogo W., Belemnaba L., Nitiema M., et al. Antioxidant and vasorelaxant properties of *Phaseolus vulgaris* Linn (*Fabaceae*) immature pods extract on the thoracic aorta of NMRI mice // Biomedical and Pharmacology Journal. 2023. V. 16 (1). P. 533–548. DOI: [10.13005/bpj/2635](https://doi.org/10.13005/bpj/2635)
37. Pandey P., Saini V.P. Natural husks as potential adsorbents for uptake of heavy metals // Inorganic Pollutants in Wastewater: Methods of Analysis, Removal and Treatment. 2017. 23 p. DOI: [10.21741/9781945291357-5](https://doi.org/10.21741/9781945291357-5)
38. Paz M.A., Suazo F., Castillo R., et al. Effect of the inclusion of discarded red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) meal on performance and egg quality of laying hens // Livestock Research for Rural Development. 2023. V. 35. Article #14. <http://www.lrrd.org/lrrd35/2/3514ymar.html>
39. Proskina L., Cerina S. Faba beans and peas in poultry feed: Economic assessment // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2017. V. 97. P. 4391–4398. DOI: [10.1002/jsfa.8415](https://doi.org/10.1002/jsfa.8415)
40. Pushpendra K., Pushpraj S.G. Bioactivity guided isolation and anti-cataract activity of α -amyrin from dichloromethane extract of *Corchorus trilobularis* // International Journal of Pharmacy and Biological Sciences. 2017. V. 7 (4). P. 248–254.
41. Ranilla L., Genovese M., Lajolo F. Polyphenols and antioxidant capacity of seed coat and cotyledon from Brazilian and Peruvian bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) // Journal of agricultural and food chemistry. 2007. V. 55. P. 90–88. DOI: [10.1021/jf062785j](https://doi.org/10.1021/jf062785j)
42. Rodriguez L., Plaza A., Mendez D., et al. Antioxidant capacity and antiplatelet activity of aqueous extracts of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) obtained with microwave and ultrasound assisted extraction // Plants. 2022. V. 11 (9). P. 1179. DOI: [10.3390/plants11091179](https://doi.org/10.3390/plants11091179)
43. Salazar-Pinto B.M., Zea-Linares V.J., Villanueva-Salas J.A., et al. Cd(II) and Pb(II) biosorption in aqueous solutions using agricultural residues of *Phaseolus vulgaris* L.: Optimization, kinetics, isotherms and desorption // Revista Mexicana de Ingeniería Química. 2020. V. 20 (1). P. 305–322. DOI: [10.24275/rmiq/IA1864](https://doi.org/10.24275/rmiq/IA1864)
44. Saleem M., Bachmann R.T. A contemporary review on plant-based coagulants for applications in water treatment // Journal of Industrial Engineering and Chemistry. 2019. V. 72. P. 281–297. DOI: [10.1016/j.jiec.2018.12.029](https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.12.029)
45. Sangaramoorthy M., Koo J., Amajor E. Intake of bean fiber, beans, and grains and reduced risk of hormone receptor-negative breast cancer: The San Francisco bay area breast cancer study // Cancer Medicine. 2018. V. 7. P. 2131–2144. DOI: [10.1002/cam4.1423](https://doi.org/10.1002/cam4.1423)
46. Schwingshackl L., Schwedhelm C., Hoffmann G., et al. Food groups and risk of hypertension: A systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies // Advances in Nutrition. 2017. V. 8. P. 793–803. DOI: [10.3945/an.117.017178](https://doi.org/10.3945/an.117.017178)

47. Sha S., Wang Y., Liu M., et al. *Phaseolus vulgaris* erythroagglutinin (PHA-E)-positive ceruloplasmin acts as a potential biomarker in pancreatic cancer diagnosis // *Cells*. 2022. V. 11 (15). P. 2453. DOI: [10.3390/cells11152453](https://doi.org/10.3390/cells11152453)
48. Smaranda C., Ungureanu-Comanita E.D., Apostol L., et al. Kinetic studies on the biosorption of Acid Orange 7 onto waste biomass of *Phaseolus vulgaris* L. // *Annals of Academy Romanian Science. Series of Physics and Chemistry Science*. 2016. V. 1. P. 68–97.
49. Srivastava S., Agrawal S.B., Mondal M.K. Characterization, isotherm and kinetic study of *Phaseolus vulgaris* husk as an innovative adsorbent for Cr(VI) removal // *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2015. V. 33. P. 567–575. DOI: [10.1007/s11814-015-0165-0](https://doi.org/10.1007/s11814-015-0165-0)
50. Srivastava S., Agrawal S.B., Mondal M.K. Fixed bed column adsorption of Cr(VI) from aqueous solution using nanosorbents derived from magnetite impregnated *Phaseolus vulgaris* husk // *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 2017. V. 38. P. 68–76. DOI: [10.1002/ep.12918](https://doi.org/10.1002/ep.12918)
51. Thomas D., Shafiee M., Nosworthy M., et al. Unveiling the evidence for the use of pulses in managing type 2 diabetes mellitus: A scoping review // *Nutrients*. 2023. V. 15(19). P. 4222. DOI: [10.3390/nu15194222](https://doi.org/10.3390/nu15194222)
52. Tunalı Akar S., Özcan A.S., Pat Z., et al. Utilization of the *Phaseolus vulgaris* L. waste biomass for decolorization of the textile dye Acid Red 57: determination of equilibrium, kinetic and thermodynamic parameters // *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*. 2007. V. 42. P. 591–600. DOI: [10.1080/10934520701244359](https://doi.org/10.1080/10934520701244359)
53. Uebersax M.A., Cichy K.A., Gomez F.E., et al. Dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a vital component of sustainable agriculture and food security—A review. // *Legume Science*. 2023. V. 5 (1). P. 155. DOI: [10.1002/leg3.155](https://doi.org/10.1002/leg3.155)
54. Vitale M., Giosuè A., Sieri S., et al. Legume consumption and blood pressure control in individuals with type 2 diabetes and hypertension: Cross-sectional findings from the TOSCA.IT study // *Nutrients*. 2023. V. 15 (13). P. 2895. DOI: [10.3390/nu15132895](https://doi.org/10.3390/nu15132895)
55. Vijayarani A. Elimination of arsenic (III) using *Phaseolus lunatus* and *Phaseolus vulgaris* as natural coagulants // *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2021. V. 10 (8). P. 66–69. DOI: [10.35940/ijeat.F2940.0810621](https://doi.org/10.35940/ijeat.F2940.0810621)
56. Yurchenko A., Krenytska D., Savchuk O., et al. The evaluation of lipid peroxidation and oxidative modification of proteins in blood serum under obesity development and the consumption of aqueous kidney beans *Phaseolus vulgaris* pods extract // *Current Issues in Pharmacy and Medical Sciences*. 2020. V. 33. P. 38–44. DOI: [10.2478/cipms-2020-0008](https://doi.org/10.2478/cipms-2020-0008)
57. Yusuf H.B., Abdullahi I., Maggawa D. Response of broiler chickens fed boiled red kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) seed meal as protein feedstuff on hematology and serum biochemical indices // *British Journal of Multidisciplinary and Advanced Studies*. 2023. V. 4. P. 53–62. DOI: [10.37745/bjmas.2022.0272](https://doi.org/10.37745/bjmas.2022.0272)

Цитировать как

Харисов Д.Р. Возможности использования биомассы и отходов от переработки *Phaseolus vulgaris* // Экобиотех. 2025. Т. 8. № 1. С. 7-21. DOI: [10.31163/2618-964X/2025-1](https://doi.org/10.31163/2618-964X/2025-1) EDN: JBDTEA

Cited as

Kharisov D.R. Possibilities of using biomass and waste from *Phaseolus vulgaris* processing. *Ecobiotech*. 2025. V. 8 (1). P. 7-21. DOI: [10.31163/2618-964X/2025-1](https://doi.org/10.31163/2618-964X/2025-1) EDN: JBDTEA (In Rus.)

Сведения об авторе

Денис Рамилович Харисов, студент, Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия. E-mail: denizharisoff@yandex.ru

Information About the Author

Denis R. Kharisov, student, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia. E-mail: denizharisoff@yandex.ru