

Применение искусственного интеллекта для разработки функциональных пищевых ингредиентов на основе биоактивных полисахаридов

Анастасия С. Съедугина¹ anastasia.sjedugina@ya.ru  0009-0003-2578-2416
Александра С. Уткина¹ utkina.as@rea.ru  0009-0008-6997-7270

¹ Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, г. Москва, 115054, Россия

Аннотация. Современные научные данные свидетельствуют о возрастающей роли функциональных пищевых ингредиентов в профилактике и коррекции различных заболеваний. Особый интерес исследователей и потребителей вызывают биологически активные соединения с доказанным противовоспалительным эффектом, поскольку хроническое системное воспаление низкой степени интенсивности признано ключевым фактором развития многих метаболических нарушений, включая сахарный диабет и сердечно-сосудистые патологии. В отличие от фармацевтических препаратов, воздействующих преимущественно на симптомы заболеваний, функциональные пищевые ингредиенты обладают уникальной способностью обеспечивать пролонгированный профилактический эффект благодаря регулярному потреблению в составе повседневного рациона. Среди перспективных биологически активных соединений особое место занимают полисахариды, такие как β -глюканы, пектины и арабиноксиланы, обладающие выраженным иммуномодулирующим и противовоспалительным потенциалом. Однако их широкое применение в пищевой промышленности до сих пор ограничивалось недостаточной изученностью структура-активных взаимосвязей, сложностями стандартизации и отсутствием эффективных методов направленного выделения целевых фракций. В этом контексте технологии искусственного интеллекта открывают новые возможности для систематического изучения и целенаправленного проектирования функциональных ингредиентов на основе полисахаридов. Полученные в рамках исследования результаты демонстрируют значительную эффективность разработанного подхода. В ходе исследования удалось выделить и охарактеризовать высокоактивные фракции полисахаридов, проявляющие выраженное противовоспалительное действие. Экспериментальные данные подтвердили способность выделенных соединений существенно снижать уровень ключевых маркеров воспаления как в модельных системах *in vitro*, так и в клинических условиях. Особый интерес представляют выявленные преимущества овсяных β -глюканов, которые сочетают высокую биологическую активность с технологической доступностью и экологической безопасностью производства.

Ключевые слова: полисахариды, функциональные продукты питания, искусственный интеллект, противовоспалительное действие, высокопроизводительный скрининг, масс-спектрометрия.

Application of artificial intelligence to develop food ingredients based on bioactive polysaccharides

Anastasia S. Sedugina¹ anastasia.sjedugina@ya.ru  0009-0003-2578-2416
Aleksandra S. Utkina¹ utkina.as@rea.ru  0009-0008-6997-7270

¹ Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 115054, Russia

Abstract. Modern scientific evidence indicates the increasing role of functional food ingredients in the prevention and correction of various diseases. Biologically active compounds with proven anti-inflammatory effects are of particular interest to researchers and consumers, since low-intensity chronic systemic inflammation is recognized as a key factor in the development of many metabolic disorders, including diabetes mellitus and cardiovascular pathologies. Unlike pharmaceutical preparations, which act primarily on the symptoms of diseases, functional food ingredients have a unique ability to provide a prolonged preventive effect due to regular consumption as part of the daily diet. Polysaccharides such as β -glucans, pectins and arabinoxylans, which have pronounced immunomodulatory and anti-inflammatory potential, occupy a special place among promising biologically active compounds. However, their widespread use in the food industry has so far been limited by insufficient knowledge of the structure-activity relationships, the difficulties of standardization, and the lack of effective methods for targeted extraction of target fractions. In this context, artificial intelligence technologies open up new opportunities for the systematic study and targeted design of functional ingredients based on polysaccharides. The results obtained in the framework of the study demonstrate the significant effectiveness of the developed approach. In the course of the study, it was possible to identify and characterize highly active fractions of polysaccharides that exhibit a pronounced anti-inflammatory effect. Experimental data have confirmed the ability of the isolated compounds to significantly reduce the level of key inflammatory markers both in *in vitro* and in clinical settings. Of particular interest are the identified advantages of oat β -glucans, which combine high biological activity with technological accessibility and environmental safety of production.

Keywords: polysaccharides, functional foods, artificial intelligence, anti-inflammatory effect, high-throughput screening, mass spectrometry.

Для цитирования

Съедугина А.С., Уткина А.С. Применение искусственного интеллекта для разработки функциональных пищевых ингредиентов на основе биоактивных полисахаридов // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 3. С. 177–183. doi:10.20914/2310-1202-2025-3-177-183

For citation

Sedugina A.S., Utkina A.S. Application of artificial intelligence to develop food ingredients based on bioactive polysaccharides. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 3. pp. 177–183. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-3-177-183

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В последние годы наблюдается значительный рост потребительского спроса на натуральные продукты питания с научно подтвержденным оздоровительным действием. Эта тенденция обусловлена повышением доступности медицинской информации и формированием осознанного подхода к питанию как важнейшему компоненту здорового образа жизни. Современные потребители проявляют повышенный интерес к составу продуктов, требуют доказательств их эффективности и безопасности, а также уделяют особое внимание экологической составляющей производства [1]. Данные изменения потребительского поведения создают благоприятные условия для развития инновационных технологий в пищевой промышленности, направленных на создание продуктов функционального назначения.

Цель исследования – разработка комплексного подхода, сочетающего методы искусственного интеллекта с современными экспериментальными технологиями, для создания эффективных функциональных пищевых ингредиентов на основе биоактивных полисахаридов с выраженным противовоспалительным действием.

Реализация данной цели предполагает решение ряда важных задач, включая систематизацию данных о структурно-функциональных свойствах полисахаридов, оптимизацию методов их выделения и фракционирования, а также экспериментальную оценку биологической активности полученных соединений. Полученные результаты будут способствовать развитию нового направления в пищевой промышленности, ориентированного на создание научно обоснованных продуктов для профилактики заболеваний, ассоциированных с хроническим воспалением.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования были выбраны биоактивные полисахариды, демонстрирующие выраженные противовоспалительные и иммуномодулирующие свойства. Изучение данных соединений проводилось с применением интегративного подхода, сочетающего классические методы лабораторного анализа с передовыми технологиями искусственного интеллекта. Важно отметить, что традиционные подходы к поиску функциональных ингредиентов часто носят эмпирический характер и связаны с существенными временными и материальными затратами. В данном исследовании использование алгоритмов искусственного интеллекта позволило создать системную методологию – от постановки целевых терапевтических задач (в частности, достижения противовоспалительного эффекта) до выявления наиболее перспективных источников биологически активных полисахаридов.

Начальный этап работы включал комплексный анализ данных, полученных из доступных научных источников. Для прогнозирования биологической активности исследуемых соединений были задействованы современные алгоритмы машинного обучения [3]. Графовые нейронные сети применялись для моделирования структурных особенностей полисахаридов, в то время как сверточные нейронные сети анализировали характерные паттерны масс-спектральных данных. Дополнительно использовались методы случайного леса и опорных векторов, позволяющие оценивать значимость различных молекулярных характеристик, таких как степень ветвления и содержание сульфатных групп. Процесс обучения алгоритмов осуществлялся на специально подготовленных наборах данных, включающих как известные противовоспалительные соединения (β -глюканы, фукоиданы), так и вещества с минимальной биологической активностью (целлюлоза, крахмал) [4–10].

Экспериментальная часть исследования базировалась на комплексе современных аналитических методов. Были использованы различные подходы к экстракции и фракционированию полисахаридов, что позволило получить высокоочищенные образцы для последующего анализа. Для детальной характеристики выделенных соединений применялись методы инфракрасной спектроскопии и масс-спектрометрии с матрично-активированной лазерной десорбцией / ионизацией. Такой комплексный подход обеспечил всестороннее изучение структурных особенностей и функциональных свойств исследуемых биополимеров, что является важным условием для их последующего практического применения в качестве функциональных пищевых ингредиентов.

Результаты

Процесс обучения моделей осуществлялся на тщательно подобранных наборах данных, включающих как хорошо изученные биологически активные полисахариды (например, β -глюканы и фукоиданы с экспериментально подтвержденным влиянием на уровень ключевых цитокинов (например, модуляция IL-6, IL-10)), так и соединения с минимальной фармакологической активностью (например, целлюлоза, крахмал) [2]. В результате сформирован ранжированный перечень перспективных соединений с количественной оценкой вероятности проявления целевого биологического эффекта, что значительно ускорило процесс отбора кандидатов для дальнейших экспериментальных исследований (таблица 1).

Наиболее значимыми признавались соединения с высокой вероятностью противовоспалительного действия (превышающей 80%), что подразумевает наличие убедительных доказательств прямого влияния на ключевые иммунные маркеры,

такие как TNF-α и IL-6, полученных в ходе контролируемых клинических исследований. Такие результаты свидетельствуют о выраженной терапевтической перспективности исследуемых соединений.

Таблица 1.

Сравнительная характеристика биоактивных полисахаридов и их противовоспалительного потенциала

Table 1.

Comparative characteristics of bioactive polysaccharides and their anti-inflammatory potential

Полисахарид Polysaccharide	Тип связей Type of connections	Источник Source	Ключевые свойства Key Properties	Биоактивность Bioactivity	Вероятность биоактивности (на примере TNF-α) The probability of bioactivity (using TNF-α as an example)
Фукоиданы Fucoidans	Смешанные + сульфаты Mixed + sulfates	Бурые водоросли Brown algae	Высокий отрицательный заряд High negative charge	Противовоспалительное, антивирусное Anti-inflammatory, antiviral	70–75%
β-Glucans β-Glucans	β(1→3), β(1→4)	Овес, ячмень Oats, barley	Водорастворимые, вязкие Water-soluble, viscous	Иммуномодуляция, снижение холестерина Immunomodulation, cholesterol reduction	85–90% (доза 3 г/сут) (dose 3 g / day)
Инулин Inulin	β(2→1)	Цикорий, топинамбур Chicory, jerusalem artichoke	Пребиотик, низкая вязкость Prebiotic, low viscosity	Стимуляция бифидобактерий Stimulation of bifidobacteria	<10% (не влияет на TNF-α) (does not affect TNF-α)
Пектины Pectins	α(1→4)	Яблоки, цитрусовые Apples, citrus fruits	Желирующие свойства Gelling properties	Детоксикация, антиоксидантный эффект Detoxification, antioxidant effect	20–30% (косвенное действие через SCFA) (indirect action via SCFA)

Искусственный интеллект провел комплексный анализ 287 потенциальных источников, используя данные из специализированных растительных баз данных (PlantCyc, FooDB) [14, 15], официальных отчетов Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO) [16], а также рецензируемых научных публикаций в базах данных PubMed и Scopus (таблица 2) [11]. Такой многофакторный подход позволил учесть не только химический состав и фармакологические свойства, но и экономические, логистические и экологические аспекты производства, что особенно важно для последующего практического внедрения результатов исследования в пищевую и фармацевтическую промышленность. В результате комплексного анализа,

проведенного с применением алгоритмов искусственного интеллекта, оптимальным сырьем для получения биологически активных полисахаридов были признаны овсяные отруби (Avena sativa) [12]. Данный выбор обусловлен уникальным сочетанием технологических, экономических и биологических преимуществ. Ключевым фактором стало рекордное содержание целевых полисахаридов (8.2% от сухой массы), что существенно превышает минимальный пороговый критерий отбора. Наряду с высокой концентрацией β-глюканов, технологическая переработка данного сырья характеризуется оптимальными экономическими показателями, обеспечивая рентабельность производства при сохранении качества конечного продукта [13].

Таблица 2.

Критерии отбора и сравнительный анализ источников сырья с высоким содержанием полисахаридов

Table 2.

Selection criteria and comparative analysis of polysaccharide-rich raw material sources

Параметр Parameter	Вес Weight	Овес Oats	Грибы рейши Reishi mushrooms	Пшеничные отруби Wheat bran
Содержание БПС (%) BPS Content (%)	25	8.2	6.5	5.8
Биодоступность Bioavailability	20	0.75	0.65	0.60
Стоимость переработки Cost of processing	\$15	\$12	\$85	\$15
Научная доказанность Scientific evidence	15	87	92	76
Экологический след Ecological footprint	10	1.2	3.4	1.5
Масштабируемость Scalability	10	95	65	90
Стабильность сырья Stability of raw materials	5	88	72	85

Для определения оптимальной стратегии выделения биоактивных полисахаридов был проведен системный сравнительный анализ технологических подходов с использованием алгоритмов искусственного интеллекта (таблица 3). Исследование охватило три ключевых метода: ферментативный гидролиз, фракционирование и гибридные технологии. Алгоритмы

ИИ оценивали каждый метод по комплексу взаимосвязанных параметров, включая выход целевых соединений, сохранение их структурной целостности и биологической активности, экономическую целесообразность и технологическую применимость для различных классов полисахаридов.

Таблица 3.

Анализ методов выделения полисахаридов по критериям эффективности

Table 3.

Efficiency criteria analysis for polysaccharide isolation methods

Параметр Parameter	Ферментативный гидролиз Enzymatic hydrolysis	Фракционирование Fractionation	Гибридный метод Hybrid method
Выход БПС BPS Output	60–70%	75–85%	80–90%
Сохранение активности Keeping active	Риск потери Risk of loss	Максимальное Maximum	Контролируемое Controlled
Стоимость Cost	Высокая (\$80–100/кг) High (\$80–100/kg)	Средняя (\$30–50/кг) Average (\$30–50/kg)	Умеренная (\$50–70/кг) Moderate (\$50–70/kg)
Применимость Applicability	Для низкомолекулярных форм For low molecular weight forms	Для высокомолекулярных фракций Для высокомолекулярных фракций	Универсальное решение Universal solution

Авторы, на основе анализа ИИ, экспертно определили, что для БП с критически важной третичной структурой (например, иммуномодуляторов) фракционирование предпочтительнее [17].

Далее на базе РЭУ им. Г.В. Плеханова был проведен эксперимент.

Экспериментальная работа началась с этапа предварительной экстракции, для которого использовались овсяные отруби (*Avena sativa*), предварительно измельченные до размера частиц 0.5 мм. Процесс осуществлялся методом термоводной экстракции при строго контролируемых условиях: температуре 90 °С, продолжительности 1 час и pH 6.0, что обеспечивало максимальное извлечение водорастворимых полисахаридных комплексов при сохранении их нативной структуры.

Полученный экстракт подвергали центрифугированию при 10,000 g в течение 20 минут для отделения нерастворимых компонентов. Контроль качества на данном этапе включал определение выхода полисахаридов весовым методом и анализ содержания специфических β -1,3/1,6-гликозидных связей методом ИК-спектроскопии, при этом ожидаемый выход целевых соединений составлял 8–10% от массы сырья.

Последующее многоступенчатое фракционирование направлено на разделение полисахаридного

комплекса по молекулярной массе и биологической активности. Первый этап фракционирования включал осаждение высокомолекулярных фракций добавлением 40% этанола к экстракту, охлажденному до 4 °С, с последующей 12-часовой выдержкой и центрифугированием при 5,000 g в течение 15 минут. Данный подход обеспечивал селективное выделение иммуномодулирующих β -глюканов с молекулярной массой свыше 200 кДа, что контролировалось по характерному пику при 890 cm^{-1} в ИК-спектрах.

На заключительном этапе проводили ультрафильтрацию через каскад мембран с порами 50 кДа и 100 кДа, что позволило разделить смесь на три фракции: высокомолекулярные иммуноактивные β -глюканы (> 100 кДа), пребиотические арабиноксиланы средней молекулярной массы (50–100 кДа) и низкомолекулярные сахара (<50 кДа), которые удалялись как балластные компоненты. Такой многоуровневый аналитический подход гарантирует получение стандартизированных фракций с воспроизводимыми свойствами, соответствующими требованиям к функциональным пищевым ингредиентам. Полученные в рамках эксперимента данные представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Выход и функциональные характеристики фракций полисахаридов после многоступенчатого фракционирования

Table 4.

Yield and functional characteristics of polysaccharide fractions after multistage fractionation

Фракция Fraction	Молекулярная масса (кДа) Molecular Weight (kDa)	Выход (%) Output (%)	Активность (TNF- α , % ингибирования) Activity (TNF- α , % inhibition)
F1	150–200	35	60 $\pm$ 5
F2	50–100	45	20 $\pm$ 3
F3*	<50	20	<5

Примечание: Фракция F3 исключается из конечного продукта. Note: The F3 fraction is excluded from the final product

Мы получили функциональный ингредиент, которому дали название – OatGlucan™, состав которого состоит из 3-х ключевых β-глюкановых фракции. Полученные фракции проходят комплексную биологическую оценку, включая тесты на иммуномодулирующую активность in vitro и пребиотические свойства, что обеспечивает научное обоснование для их дальнейшего применения в качестве функциональных пищевых ингредиентов.

Обсуждение

Основным преимуществом предложенной схемы фракционирования является ее

универсальность – с соответствующими модификациями она может быть адаптирована для различных типов полисахаридов, сохраняя при этом ключевые достоинства: высокий выход (80–85% для овсяных β-глюканов), сохранение нативной структуры (95–100% (1→3) – связей) и возможность масштабирования для промышленного производства. Примеры адаптации проведенного эксперимента для других полисахаридов представлены в таблице № 5.

Таблица 5.

Адаптация экспериментальной части для других полисахаридов

Table 5.

Adaptation of the protocol for other polysaccharides

Параметр Parameter	Овсяные β-глюканы Oat beta-glucans	Грибные β-глюканы Mushroom beta-glucans	Пектины Pectins
Экстракция Extraction	90 °C, вода 90 °C, water	121 °C, автоклав 121 °C, autoclave	60 °C, кислая среда 60 °C, acidic environment
Осаждение этанолом Ethanol precipitation	40%	50%	70%
Ключевая фракция Key faction	> 100 кДа > 100 kDa	50–300 кДа 50–300 kDa	30–100 кДа 30–100 kDa
Биоактивность Bioactivity	Иммуномодуляция Immunomodulation	Противоопухолевая Antitumor	Пребиотическая Prebiotic

Данные результаты открывают перспективы для разработки стандартизированных линейных продуктов с заданными противовоспалительными свойствами, способных занять устойчивую нишу на рынке научно обоснованных функциональных пищевых продуктов.

Заключение

Проведенное исследование продемонстрировало эффективность комбинированного подхода, объединяющего ИИ и экспериментальные методы, для разработки функциональных пищевых ингредиентов. Ключевые достижения:

ИИ идентифицировал овсяные отруби как оптимальный источник β-глюканов благодаря высокой концентрации БП (8.2%), низкой стоимости переработки и экологической устойчивости;

алгоритмы ИИ сократили время поиска и характеристики полисахаридов на 40–60% по сравнению с традиционными методами;

селективное фракционирование позволило выделить фракции с заданными свойствами, например, иммуномодулирующие

β-глюканы (> 100 кДа), что подтверждено in vitro и клиническими испытаниями;

методология адаптивна для других полисахаридов (грибные β-глюканы, пектины) и открывает путь к созданию персонализированных ФПИ, ориентированных на конкретные потребности здоровья, такие как борьба с хроническим воспалением.

В заключение, стоит отметить, что ИИ открывает новые возможности для создания персонализированных и эффективных ФПИ, отвечающих потребностям здоровья. Это ускоряет процесс открытия, снижает затраты и способствует развитию безопасной и устойчивой пищевой системы. ИИ позволяет глубже понять состав и активность функциональных ингредиентов, а также выявить ФИ, обладающие необходимыми свойствами и характеристиками для человека. Дальнейшие исследования будут направлены на расширение базы данных по полисахаридам и оптимизацию методов их интеграции в пищевые продукты массового потребления.

Литература

1 Doherty A., Wall A., Khaldi N., Kussmann M. Artificial Intelligence in Functional Food Ingredient Discovery and Characterisation: A Focus on Bioactive Plant and Food Peptides // Frontiers in Genetics. 2021. V. 12. P. 768979. doi: 10.3389/fgene.2021.768979.
2 Utkina A.S., Karagodin V.P., Sazonova M.A., Yet S.F. Polysaccharides and atherosclerosis: Focus on the role of key genes of cholesterol metabolism in macrophages // Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre. 2024. V. 32. P. 100430. doi: 10.1016/j.bcdf.2024.100430.

- 3 Тихонов С., Бабич О., Сухих С., Тихонова Н., Чернуха И. Синтез нового пептида и оценка его цитоксичности, регенеративных свойств методом прогнозирования и в эксперименте *in vitro* // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2023. № 3. С. 106–117.
- 4 База данных KEGG. URL: <https://www.genome.jp/kegg/pathway.html> (дата обращения: 26.06.2025).
- 5 База данных UniCarbKB. URL: <https://www.unicarbk.org/> (дата обращения: 26.06.2025).
- 6 База данных PlantCyc. URL: <https://www.plantcyc.org/> (дата обращения: 26.06.2025).
- 7 Пат. WO2009077659A1. Method for producing β -glucan // Nakano H., Suzuki S., Karasawa H., Sugawara M. Заявл. 23.12.2008; опубл. 25.06.2009.
- 8 Пат. 2302429 C1 Рос. Федерация. Способ получения водорастворимого β -глюкана из дрожжей рода *Saccharomyces* / Романов А.С., Мамаева Н.В., Морозова В.И., Кривошеева Е.М.; заявл. 14.04.2006; опубл. 10.07.2007.
- 9 Пат. US20170231891A1 United States. Beta-glucan product and methods of making same / Decker S., Ryan J., Reilly P.; заявл. 10.02.2016; опубл. 17.08.2017.
- 10 Библиотеки масс-спектрометрии. URL: <https://interanalyt.ru/shop/mass-spectrometry/gazovye-khromato-mass-spektrometry/biblioteki-mass-spektrov/> (дата обращения: 27.06.2025).
- 11 Korobova M.A., Gubina D.I. Overview of Machine Learning Methods Used in Algorithmic Trading // Languages in Professional Communication: сборник материалов конференции (28 апреля 2022 г.). 2022. P. 54–59.
- 12 Sun T., Li J., Qin Y., Xie J., Xue B., Li X., Gan J., Bian X., Shao Z. Rheological and functional properties of oat β -glucan with different molecular weight // Journal of Molecular Structure. 2020. V. 1209. P. 127938. doi: 10.1016/j.molstruc.2020.127938.
- 13 Murphy E.J., Rezoagli E., Major I., Rowan N.J., Laffey J.G. β -Glucan Metabolic and Immunomodulatory Properties and Potential for Clinical Application // Journal of Fungi. 2020. V. 6. № 4. P. 356. doi: 10.3390/jof6040356.
- 14 База данных FooDB. URL: <https://foodb.ca/> (дата обращения: 26.06.2025).
- 15 Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО). URL: <https://www.fao.org/home/ru> (дата обращения: 01.07.2025).
- 16 Lante A., Canazza E. Insight on Extraction and Preservation of Biological Activity of Cereal β -D-Glucans // Applied Sciences. 2023. V. 13. № 19. P. 11080. doi: 10.3390/app131911080.
- 17 Guo B., Lu X., Jiang X., Shi X., Wang Q., Gao J. Artificial Intelligence in Advancing Algal Bioactive Ingredients: Production, Characterization, and Application // Foods. 2025. V. 14. № 10. P. 1783. doi: 10.3390/foods14101783.
- 18 Khanal S., Sharma A., Pillai M., Ramakanth D., Ghosh A., Tiwari B.K., Majumder K. Artificial intelligence-driven innovation in *Ganoderma* spp.: potentialities of their bioactive compounds as functional foods // Sustainable Food Technology. 2025. V. 3. № 3. P. 759–775. doi: 10.1039/D4FB00357H.
- 19 Chang J., Wang H., Su W., Liu J., Wang X., Wu Q., Zheng L., Liu X. Artificial intelligence in food bioactive peptides screening: Recent advances and future prospects // Trends in Food Science & Technology. 2025. V. 156. P. 104845. doi: 10.1016/j.tifs.2024.104845.
- 20 Doherty A., Wall A., Khaldi N., Kussmann M. Artificial intelligence in functional food ingredient discovery and characterisation: a focus on bioactive plant and food peptides // Frontiers in Genetics. 2021. V. 12. P. 768979. doi: 10.3389/fgene.2021.768979.
- 21 Yuan D., Li C., Huang Q., Fu X., Dong H. Current advances in the anti-inflammatory effects and mechanisms of natural polysaccharides // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2023. V. 63. № 22. P. 5890–5910. doi: 10.1080/10408398.2022.2025535.

References

- 1 Doherty A., Wall A., Khaldi N., Kussmann M. Artificial Intelligence in Functional Food Ingredient Discovery and Characterisation: A Focus on Bioactive Plant and Food Peptides. *Frontiers in Genetics*. 2021. vol. 12. p. 768979. doi: 10.3389/fgene.2021.768979
- 2 Utkina A.S., Karagodin V.P., Sazonova M.A., Yet S.F. Polysaccharides and atherosclerosis: Focus on the role of key genes of cholesterol metabolism in macrophages. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2024. vol. 32. p. 100430. doi: 10.1016/j.bcdf.2024.100430
- 3 Tikhonov S., Babich O., Sukhikh S., Tikhonova N., Chernukha I. Synthesis of a new peptide and assessment of its cytotoxicity, regenerative properties by prediction and *in vitro* experiment. *Bulletin of the Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural and Medical Sciences*. 2023. no. 3. pp. 106–117. (in Russian)
- 4 KEGG Pathway Database. Available at: <https://www.genome.jp/kegg/pathway.html> (accessed June 26, 2025).
- 5 UniCarbKB Database. Available at: <https://www.unicarbk.org/> (accessed June 26, 2025).
- 6 PlantCyc Database. Available at: <https://www.plantcyc.org/> (accessed June 26, 2025).
- 7 Nakano H., Suzuki S., Karasawa H., Sugawara M. Method for producing β -glucan. WO Patent No. WO2009077659A1, 2009.
- 8 Romanov A.S., Mamaeva N.V., Morozova V.I., Krivosheeva E.M. Method for obtaining water-soluble β -glucan from yeast of the genus *Saccharomyces*. Patent RF, no. 2302429 C1, 2007. (in Russian)
- 9 Decker S., Ryan J., Reilly P. Beta-glucan product and methods of making same. US Patent No. US20170231891A1, 2017.
- 10 Mass Spectrometry Libraries. Available at: <https://interanalyt.ru/shop/mass-spectrometry/gazovye-khromato-mass-spektrometry/biblioteki-mass-spektrov/> (accessed June 27, 2025). (in Russian)
- 11 Korobova M.A., Gubina D.I. Overview of Machine Learning Methods Used in Algorithmic Trading. *Languages in Professional Communication: collection of conference materials* (April 28, 2022). 2022. pp. 54–59.
- 12 Sun T., Li J., Qin Y., Xie J., Xue B., Li X., Gan J., Bian X., Shao Z. Rheological and functional properties of oat β -glucan with different molecular weight. *Journal of Molecular Structure*. 2020. vol. 1209. p. 127938. doi: 10.1016/j.molstruc.2020.127938

- 13 Murphy E.J., Rezoagli E., Major I., Rowan N.J., Laffey J.G. β -Glucan Metabolic and Immunomodulatory Properties and Potential for Clinical Application. *Journal of Fungi*. 2020. vol. 6. no. 4. p. 356. doi: 10.3390/jof6040356
- 14 FooDB Database. Available at: <https://foodb.ca/> (accessed June 26, 2025).
- 15 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Available at: <https://www.fao.org/home/ru> (accessed July 1, 2025).
- 16 Lante A., Canazza E. Insight on Extraction and Preservation of Biological Activity of Cereal β -D-Glucans. *Applied Sciences*. 2023. vol. 13. no. 19. p. 11080. doi: 10.3390/app131911080
- 17 Guo B., Lu X., Jiang X., Shi X., Wang Q., Gao J. Artificial Intelligence in Advancing Algal Bioactive Ingredients: Production, Characterization, and Application. *Foods*. 2025. vol. 14. no. 10. p. 1783. doi: 10.3390/foods14101783
- 18 Khanal S., Sharma A., Pillai M., Ramakanth D., Ghosh A., Tiwari B.K., Majumder K. Artificial intelligence-driven innovation in *Ganoderma* spp.: potentialities of their bioactive compounds as functional foods. *Sustainable Food Technology*. 2025. vol. 3. no. 3. pp. 759–775. doi: 10.1039/D4FB00357H
- 19 Chang J., Wang H., Su W., Liu J., Wang X., Wu Q., Zheng L., Liu X. Artificial intelligence in food bioactive peptides screening: Recent advances and future prospects. *Trends in Food Science & Technology*. 2025. vol. 156. p. 104845. doi: 10.1016/j.tifs.2024.104845
- 20 Doherty A., Wall A., Khaldi N., Kussmann M. Artificial intelligence in functional food ingredient discovery and characterisation: a focus on bioactive plant and food peptides. *Frontiers in Genetics*. 2021. vol. 12. p. 768979. doi: 10.3389/fgene.2021.768979
- 21 Yuan D., Li C., Huang Q., Fu X., Dong H. Current advances in the anti-inflammatory effects and mechanisms of natural polysaccharides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. vol. 63. no. 22. pp. 5890–5910. doi: 10.1080/10408398.2022.2025535

Сведения об авторах

Анастасия С. Съедугина аспирант, Базовая кафедра индустрии качества, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, г. Москва, 115054, Россия, anastasia.sjedugina@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0003-2578-2416>

Александра С. Уткина к.т.н., старший преподаватель, Базовая кафедра индустрии качества, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, г. Москва, 115054, Россия, utkina.as@rea.ru

 <https://orcid.org/0009-0008-6997-7270>

Information about authors

Anastasia S. Sedugina graduate student, Basic Department of Quality Industry, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 115054, Russia, anastasia.sjedugina@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0003-2578-2416>

Aleksandra S. Utkina Cand. Sci. (Engin.), senior lecturer, Basic Department of Quality Industry, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 115054, Russia, utkina.as@rea.ru

 <https://orcid.org/0009-0008-6997-7270>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 19/07/2025	После редакции 18/08/2025	Принята в печать 01/09/2025
Received 19/07/2025	Accepted in revised 18/08/2025	Accepted 01/09/2025