Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2026-3-307-314 Оригинальная статья/Research article
УДК 640 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Сенсорное профилирование равновесной газовой фазы концентратов подсолнечного белка

Максим В. Копылов [1] kopylov-maks@yandex.ru 0000-0003-2678-2613
Руслан У. Умарханов [1] rus_270487@mail.ru 0000-0001-5113-6096
Алексей А. Берестовой [1] berestovoy_1991@mail.ru 0000-0003-2255-9414
Александр В. Петриков [2] petrik036@yandex.ru Место для ввода текста.

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Цель работы — установить различия многосенсорных профилей равновесной газовой фазы над девятью образцами концентрата подсолнечного белка, полученными при разных значениях pH, гидромодулях, реагентах и фильтрующих добавках. Для каждого образца анализировали 3 мл газовой фазы в течение 60 с массивом из восьми измерительных каналов. По первичным временным рядам определяли знаковые экстремумы откликов, площадь восьмилучевого визуального отпечатка, временной интеграл суммы модулей откликов и относительный вклад каждого канала. Форму профилей сопоставляли по половине суммы абсолютных различий нормированных долей; дополнительное описательное сравнение выполняли методом главных компонент. Наибольший общий отклик получен для пробы 1: площадь отпечатка составила 511,95 Гц², временной интеграл — 4786,5 Гц·с. Наименьшие значения обоих показателей зарегистрированы для пробы 5: 44,55 Гц² и 1230,0 Гц·с. В группе 1 интенсивность снижалась от пробы 1 к пробе 3; площадь пробы 3 была ниже на 65,19 %, а различие нормированной формы составило 5,43 %. В группах 2 и 3 наиболее близкими по площади были пары 4–6 и 7–9 с различиями 3,31 и 3,37 % соответственно. Канал ПЭГ2000 формировал 27,78–37,78 % нормированного профиля во всех пробах. Первые две главные компоненты объясняли 86,44 % вариации профилей. Результаты показывают пригодность многосенсорного подхода для сравнительной характеристики образцов, но не позволяют выделить влияние одного технологического фактора из-за одновременного изменения нескольких условий и отсутствия повторных измерений.

Ключевые слова: подсолнечный белок, равновесная газовая фаза, массив сенсоров, визуальный отпечаток, временной интеграл, анализ главных компонент.

Sensor profiling of the equilibrium headspace of sunflower protein concentrates

Maxim V. Kopylov [1] kopylov-maks@yandex.ru 0000-0003-2678-2613
Ruslan U. Umarkhanov [1] rus_270487@mail.ru 0000-0001-5113-6096
Alexey A. Berestovoy [1] berestovoy_1991@mail.ru 0000-0003-2255-9414
Alexander V. Petrikov [2] petrik036@yandex.ru Место для ввода текста.

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The study aimed to determine differences in multisensor profiles of the equilibrium headspace above nine sunflower protein concentrates prepared at different pH values, solid-to-liquid ratios, reagents, and filtration additives. Three millilitres of headspace from each sample were analysed for 60 s using an array of eight measurement channels. Signed response extrema, the area of the eight-axis visual fingerprint, the time integral of the summed absolute responses, and the relative contribution of each channel were calculated from the primary time series. Profile shape was compared using one half of the sum of absolute differences between normalized channel fractions, and principal component analysis was used as an additional descriptive tool. Sample 1 produced the strongest overall response, with a fingerprint area of 511.95 Hz² and a time integral of 4786.5 Hz·s. Sample 5 had the lowest values, 44.55 Hz² and 1230.0 Hz·s. In group 1, response intensity decreased from sample 1 to sample 3; the area of sample 3 was 65.19% lower, whereas the normalized profile shape differed by 5.43%. In groups 2 and 3, samples 4 and 6 and samples 7 and 9 were the closest pairs by area, with differences of 3.31% and 3.37%, respectively. The PEG 2000 channel accounted for 27.78–37.78% of every normalized profile. The first two principal components explained 86.44% of the profile variation. The multisensor approach is suitable for comparative characterization of these samples; however, the contribution of a single processing factor cannot be isolated because several conditions changed simultaneously and no replicate measurements were available.

Keywords: sunflower protein, equilibrium headspace, sensor array, visual fingerprint, time integral, principal component analysis.

Для цитирования
Копылов М.В., Умарханов Р.У., Берестовой А.А., Петриков А.В. Сенсорное профилирование равновесной газовой фазы концентратов подсолнечного белка // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 3. С. 307–314. doi:10.20914/2310-1202-2026-3-307-314

For citation
Kopylov M.V., Umarkhanov R.U., Berestovoy A.A., Petrikov A.V. Sensor profiling of the equilibrium headspace of sunflower protein concentrates. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 3. pp. 307–314. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-3-307-314

© 2026, Копылов М.В. и др. / Kopylov M.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Подсолнечный шрот и другие вторичные продукты масложирового производства рассматриваются как перспективное сырье для получения белковых концентратов. Современные исследования направлены на повышение выхода белка, улучшение функциональных свойств и снижение влияния сопутствующих компонентов [1–8].

Различия условий экстракции, кислотно-щелочной обработки и фильтрации изменяют состав белковой фракции и сопутствующих летучих компонентов. Поэтому наряду с физико-химическими показателями целесообразно применять методы, позволяющие быстро сопоставлять интегральные профили газовой фазы над продуктом.

Массивы неселективных сенсоров формируют многомерный отклик, который можно представить в виде временных кривых и радиальных визуальных отпечатков. Такой подход не идентифицирует отдельные соединения, но позволяет сравнивать общий масштаб и форму профиля разных образцов. Для интерпретации необходимы прозрачные правила расчета и учет повторности измерений.

Цель работы — определить различия сенсорных профилей равновесной газовой фазы девяти образцов концентрата подсолнечного белка и установить, какие образцы наиболее близки по интегральным показателям и нормированной форме отклика.

Материалы и методы

Исследовали девять образцов, объединенных в три группы согласно полю «Название» в исходных Excel-файлах. Условия получения образцов включали pH 5,2–8,0, гидромодули 1:10 и 2:8, растворы $CaCl_2$, NaCl или NaOH, уксусную кислоту и фильтрующие добавки. Составы приведены в формулировках исходного файла; база, к которой относятся отдельные проценты и количества добавок, в материалах не указана.

Таблица 1.

Условия подготовки образцов концентрата подсолнечного белка

Table 1.

Preparation conditions for sunflower protein concentrate samples

Проба Sample	Группа Group	pH	Гидромодуль Ratio	Реагенты и добавки Reagents and additives
1	1	5,2	1:10	$CaCl_2$ 5 %; уксусная кислота / acetic acid 10 %, 50 мл / mL
2	1	5,6	2:8	NaCl 5 %; уксусная кислота / acetic acid 10 %, 50 мл / mL; Benteco F 205 S
3	1	5,2	1:10	$CaCl_2$ 5 %; уксусная кислота / acetic acid 10 %, 80 мл / mL; Benteco F 300 S2
4	2	8,0	1:10	NaOH 10 %
5	2	5,8	2:8	$CaCl_2$ 5 % (20 г / g); Benteco F 620, 10 г на фильтр / 10 g on filter
6	2	8,0	1:10	NaOH 10 %; Benteco F 620, 10 г на фильтр / 10 g on filter
7	3	5,6	2:8	NaCl 10 %; уксусная кислота / acetic acid 10 %, 50 мл / mL; Taiko Classic 1G
8	3	5,8	2:8	$CaCl_2$ 5 %; Madur 212
9	3	8,0	1:10	NaOH 10 %; Taiko Classic 1G

Равновесную газовую фазу отбирали в объеме 3 мл. Каждый образец измеряли в течение 60 с массивом из восьми каналов: ПВП, ПчКл, 18К6, ГА, ПЭГ2000, ПЭГСб, ПЭГС и ТХ-100. Временные ряды ΔF регистрировали с шагом 1 с. Измерения выполнены 22 апреля 2026 г. Модель прибора, температура и время выдерживания проб в исходных материалах не указаны.

Для каждого канала выбирали наибольший по модулю отклик с сохранением исходного знака. Площадь визуального отпечатка рассчитывали как площадь восьмилучевого многоугольника модулей максимумов. Временной интеграл определяли методом трапеций для суммы модулей восьми откликов. Относительный вклад канала рассчитывали как долю его модуля максимума в сумме модулей максимумов.

Попарно сравнивали пробы 1–2, 1–3, 4–5, 4–6, 7–8 и 7–9. Различие формы определяли как половину суммы абсолютных разностей нормированных долей каналов. Анализ главных компонент выполняли для центрированной матрицы относительных вкладов. Все расчеты носят описательный характер, поскольку для каждой рецептуры представлен один временной ряд.

Результаты

Временные кривые показали выраженное различие масштаба отклика между группами. Для проб 1–3 суммарный модуль быстро увеличивался в первые секунды и далее стабилизировался на более высоком уровне, чем для проб 4–9. В группе 1 наибольший отклик сохраняла проба 1, наименьший — проба 3. В группе 2 наибольший временной интеграл получен для пробы 6, в группе 3 — для пробы 7.

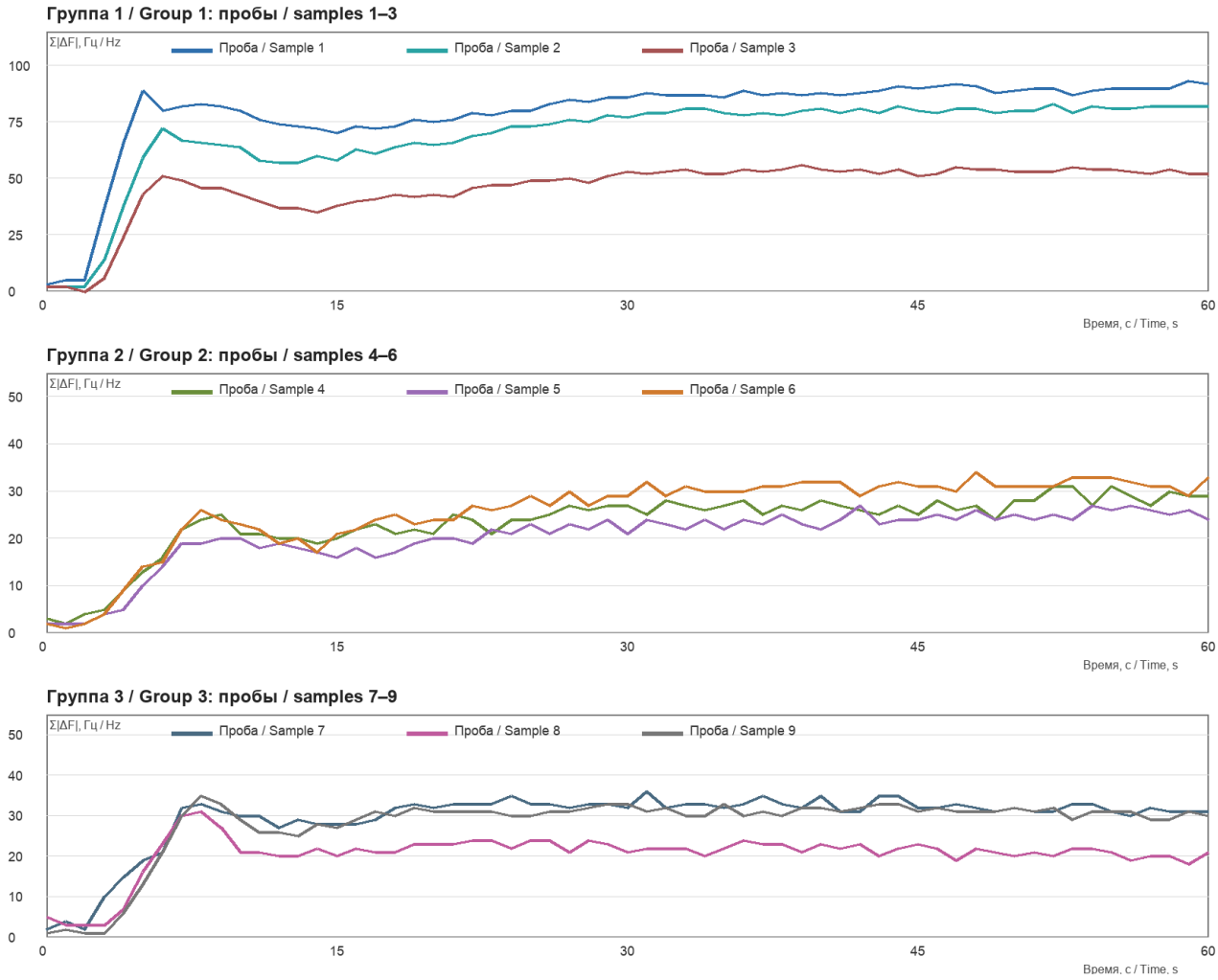


Рисунок 1. Динамика суммы модулей откликов восьми сенсоров за 60 с

Figure 1. Dynamics of the summed absolute responses of eight sensors over 60 s

Таблица 2.

Максимальные отклики каналов и интегральные показатели

Table 2.

Maximum channel responses and integral indices

№	ПВП	ПчКл	18К6	ГА	ПЭГ2000	ПЭГСб	ПЭГС	ТХ-100	Smax, Гц² / Hz²	It, Гц·с / Hz·s
1	5	11	4	-21	41	4	5	22	511,95	4786,5
2	4	10	4	-17	36	3	6	20	383,96	4159,0
3	4	7	2	-11	24	2	4	15	178,19	2761,0
4	-2	-6	-2	5	-11	-2	-2	-9	53,39	1409,0
5	1	-5	-2	6	-10	-1	-2	-9	44,55	1230,0
6	-1	-7	-2	6	-13	-1	-2	-10	55,15	1553,5
7	-2	-6	-2	6	-17	-2	-2	-8	73,54	1780,5
8	-2	-4	-1	-8	-14	-1	1	-8	60,46	1239,0
9	-1	-5	-2	-8	-16	-1	-2	-8	71,06	1686,5

Наибольшая площадь отпечатка и временной интеграл зарегистрированы для пробы 1 — 511,95 Гц² и 4786,5 Гц·с. Наименьшие значения получены для пробы 5 — 44,55 Гц² и 1230,0 Гц·с. Во всех группах наибольший по модулю максимум связан с каналом ПЭГ2000. В пробах 1–3 большинство максимумов положительные при отрицательном отклике ГА; в пробах 4–7 преобладают отрицательные максимумы при положительном ГА; у проб 8 и 9 максимум ГА также отрицательный.

Для проб 1–3 использована шкала до 45 Гц, для проб 4–9 — до 20 Гц. Разделение шкал позволяет сопоставить форму профилей внутри групп. После нормирования вклад ПЭГ2000 составлял 27,78–37,78 %. Следующими по вкладу чаще были ТХ-100 и ГА.



Рисунок 2. Визуальные отпечатки модулей максимальных откликов

Figure 2. Visual fingerprints of absolute maximum responses

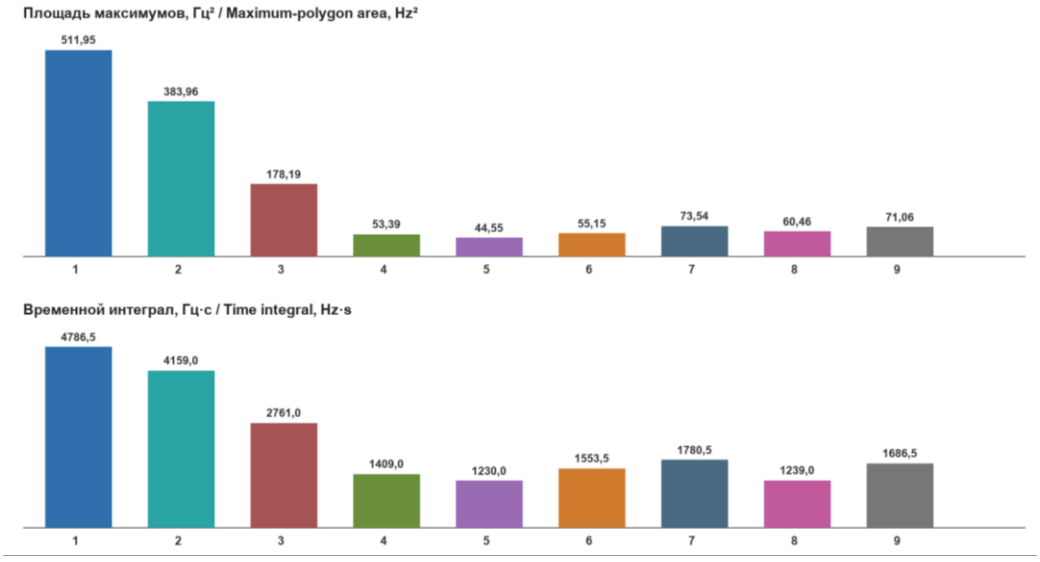


Рисунок 3. Попарные различия интегральных показателей и формы профиля

Figure 3. Pairwise differences in integral indices and profile shape

Таблица 3.

Попарные различия интегральных показателей и формы профиля

Table 3.

Pairwise differences in integral indices and profile shape

Пары Pairs	ΔSmax, Гц² Hz²	ΔSmax, %	ΔIt, Гц·с Hz·s	ΔIt, %	Форма Shape, %
1–2	127,99	25,00	627,5	13,11	2,83
1–3	333,75	65,19	2025,5	42,32	5,43
4–5	8,84	16,56	179,0	12,70	6,62
4–6	1,77	3,31	144,5	10,26	6,23
7–8	13,08	17,79	541,5	30,41	10,60
7–9	2,47	3,37	94,0	5,28	6,51

Обсуждение

В группе 1 различие главным образом связано с масштабом отклика: площадь пробы 2 ниже площади пробы 1 на 25,00 %, а пробы 3 — на 65,19 %, тогда как различие нормированной формы составляет 2,83 и 5,43 %. Следовательно, соотношение каналов сохраняется лучше, чем абсолютная интенсивность.

В группе 2 площади проб 4 и 6 отличаются на 3,31 %, но временные интегралы — на 10,26 %. Такое расхождение показывает, что единичные максимумы и вся временная кривая характеризуют разные стороны отклика. В группе 3 наиболее близки пробы 7 и 9: различия составили 3,37 % по площади и 5,28 % по интегралу. Проба 8 сильнее отличалась от пробы 7 по нормированной форме — на 10,60 %.

Одновременно изменялись pH, гидромодуль, реагенты и фильтрующие добавки. Наблюдаемые различия нельзя отнести к одному фактору без однофакторного эксперимента и повторных измерений. Сенсорный массив характеризует интегральный профиль газовой фазы, но не заменяет идентификацию летучих соединений или органолептическую оценку.

Сводная таблица исходного Word-файла содержит отдельные расхождения с первичными Excel-файлами: для пробы 1 максимум ПчКл равен 11 Гц, а для пробы 7 максимумы ПчКл и ПЭГСб равны −6 и −2 Гц. В настоящей работе использованы первичные временные ряды.

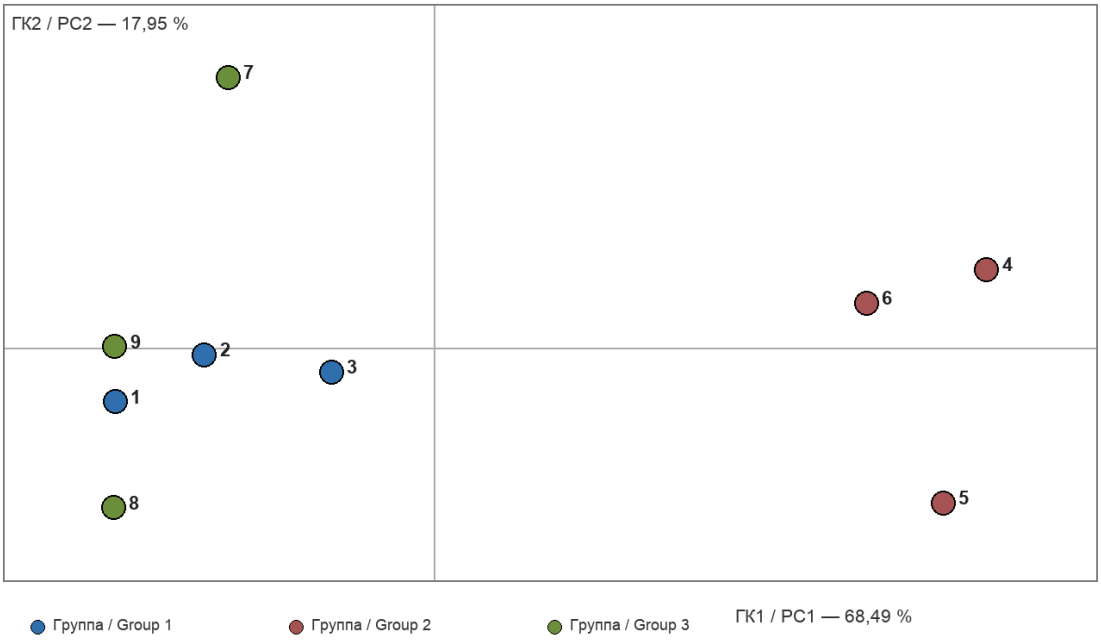


Рисунок 4. Проекция нормированных профилей на первые две главные компоненты

Figure 4. Projection of normalized profiles onto the first two principal components

Первая главная компонента объясняет 68,49 %, вторая — 17,95 %, вместе — 86,44 % вариации нормированных профилей, Пробы 4–6 расположены с одной стороны первой компоненты, а пробы 1–3 и большинство проб 7–9 — с другой; проба 7 выделяется по второй компоненте, Проекция является описательной и не содержит доверительных границ.

Заключение

Многосенсорное исследование выявило выраженные различия общего масштаба отклика девяти концентратов подсолнечного белка. Максимальные интегральные показатели получены для пробы 1, минимальные — для пробы 5.

В группе 1 интенсивность последовательно снижалась от пробы 1 к пробе 3 при относительно небольшом изменении нормированной формы. В группах 2 и 3 наиболее близкими по площади отпечатка были пары 4–6 и 7–9.

Канал ПЭГ2000 формировал наибольший относительный вклад во всех профилях. Первые две главные компоненты объясняли 86,44 % вариации нормированных данных.

Для проверки воспроизводимости и установления влияния отдельных факторов необходим эксперимент с повторными измерениями, контролем температуры и времени выдерживания и последовательным изменением одного технологического параметра.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-00391 «Получение светлых концентратов подсолнечного белка с использованием адсорбционных методов и сенсорным формированием органолептического профиля»

Литература

1 Шагинова Л.О., Семенова А.А., Козлова О.В. и др. Исследование процесса получения белкового препарата из семян подсолнечника для использования в пищевой промышленности // Новые технологии. 2021. № 3. С. 41–50.

2 Dabbour M., He R., Ma H. et al. Ultrasonic-assisted protein extraction from sunflower meal: Kinetic modeling, functional, and structural traits // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2021. V. 74. P. 102824. doi: 10.1016/j.ifset.2021.102824

3 Nedelkov K.V. A new approach for processing and use of sunflower meal // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2023. V. 29. № 2. P. 384–389.

4 Gültekin Subaşı B., Vahapoğlu B., Capanoglu E., Mohammadifar M.A. A review on protein extracts from sunflower cake: Techno-functional properties and promising modification methods // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022. V. 62. № 24. P. 6682–6697. doi: 10.1080/10408398.2021.1904821

5 Huang X., Li Z., Wang Y. et al. Structural, functional properties, and in vitro digestibility of sunflower protein concentrate as affected by extraction method: Isoelectric precipitation vs ultrafiltration // Food Chemistry. 2024. V. 439. P. 138090.

6 Sentís-Moré P., Ortega-Olivé N., Mas-Capdevila A., Romero-Fabregat M.P. Impact of centrifugation and vacuum filtration step on the yield and molecular weight distribution of protein hydrolysates from rapeseed and sunflower meals // LWT – Food Science and Technology. 2022. V. 165. P. 113741. doi: 10.1016/j.lwt.2022.113741

7 Domorochshenkova M.L., Ivanova T.N., Petrova O.A. et al. Influence of the composition of sunflower meal on the efficiency of separating the protein part of the raw material from fiber by mechanical fractionation // Food Systems. 2024. V. 17. № 1. P. 3–13.

8 Гапонова Л.В., Гаврилова В.А., Демьяненко Т.Ф. и др. Подсолнечник и использование его в безотходной технологии переработки с целью производства продуктов лечебно-профилактического и детского питания // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 4. С. 181–189.

9 Зенкова Д.В., Борисова А.В. Анализ технологий белковых продуктов из подсолнечника: концентратов, гидролизатов, изолятов, текстуратов // Известия ДВФУ. Экономика и управление. 2021. № 3 (99). С. 107–116.

10 Меренкова С.П., Калинина И.В., Грачев С.А. Получение белковых концентратов из продуктов переработки масличного сырья // Вестник ЮУрГУ. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2025. Т. 13. № 3. С. 16–25.

11 Усеня Ю.С., Гартованная Е.А., Кочеткова А.А. Перспективы использования вторичных продуктов переработки масличных культур для обогащения пищевых концентратов // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2020. Т. 13. № 1. С. 28–35.

12 Крылова И.В., Федоров А.В., Доморощенкова М.Л., Демьяненко Т.Ф., Шагинова Л.О. Экстракция подсолнечного белка с применением ультразвукового излучения // Новые технологии. 2024. Т. 20. № 2. С. 81–89. doi: 10.47370/2072-0920-2024-20-2-81-89

13 Псаломщиков Е.В., Дорошенко В.А., Олейник Д.С. Обзор методов получения концентрата и изолята белка из жмыха и шрота подсолнечника // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: мат. конф. 2022. С. 198.

14 Крылова И.В., Доморощенкова М.Л., Демьяненко Т.Ф. и др. Получение белкового ингредиента с повышенной водоудерживающей способностью из подсолнечного шрота // Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 352–363.

15 Москвичева Е.В., Фединишина Е.Ю., Смятская Ю.А. Разработка технологии специализированной снековой продукции с белковым концентратом семян подсолнечника // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2023. № 3 (57). С. 31–39.

16 Дегтярев И.А., Фоменко И.А., Мижева А.А. и др. Белковые препараты из отходов переработки рапса: обзор современного состояния и перспектив развития существующих технологий // Пищевые системы. 2023. Т. 6. № 2. С. 159–170.

17 Садыкова Э.О., Соколов И.Ю., Селифанов А.В. и др. Альтернативные источники пищевого белка: концентрат из бактерий Methylococcus capsulatus, характеристика состава и биологическая ценность // Вопросы питания. 2023. Т. 92. № 3 (547). С. 36–44.

18 Веляев Ю.О., Гнилицкая Т.И. ИК-спектроскопическое исследование белоксодержащих продуктов, полученных в процессе переработки семян подсолнечника // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. № 7-1. С. 79–83.

19 Степуро М.В., Лобанов В.Г., Щербаков В.Г. Влияние обработки белковых концентратов из семян подсолнечника раствором янтарной кислоты на их функциональные свойства // Известия вузов. Пищевая технология. 2006. № 2-3. С. 71–72.

20 Поморова Ю.Ю., Пятовский В.В., Бескоровайный Д.В., Болховитина Ю.С. Характеристика, методы выделения белковой фракции семян основных масличных культур (обзор) // Масличные культуры. 2019. Вып. 4. С. 161–169.

References

1 Shaginova L.O., Semenova A.A., Kozlova O.V. et al. Study of the process of obtaining a protein preparation from sunflower seeds for use in the food industry. New Technologies. 2021. no. 3. pp. 41–50. (in Russian).

2 Dabbour M., He R., Ma H. et al. Ultrasonic-assisted protein extraction from sunflower meal: Kinetic modeling, functional, and structural traits. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2021. vol. 74. article 102824. doi: 10.1016/j.ifset.2021.102824.

3 Nedelkov K.V. A new approach for processing and use of sunflower meal. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2023. vol. 29. no. 2. pp. 384–389.

4 Gültekin Subaşı B., Vahapoğlu B., Capanoglu E., Mohammadifar M.A. A review on protein extracts from sunflower cake: Techno-functional properties and promising modification methods. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022. vol. 62. no. 24. pp. 6682–6697. doi: 10.1080/10408398.2021.1904821.

5 Huang X., Li Z., Wang Y. et al. Structural, functional properties, and in vitro digestibility of sunflower protein concentrate as affected by extraction method: Isoelectric precipitation vs ultrafiltration. Food Chemistry. 2024. vol. 439. article 138090.

6 Sentís-Moré P., Ortega-Olivé N., Mas-Capdevila A., Romero-Fabregat M.P. Impact of centrifugation and vacuum filtration step on the yield and molecular weight distribution of protein hydrolysates from rapeseed and sunflower meals. LWT – Food Science and Technology. 2022. vol. 165. article 113741. doi: 10.1016/j.lwt.2022.113741.

7 Domorochshenkova M.L., Ivanova T.N., Petrova O.A. et al. Influence of the composition of sunflower meal on the efficiency of separating the protein part of the raw material from fiber by mechanical fractionation. Food Systems. 2024. vol. 17. no. 1. pp. 3–13.

8 Gaponova L.V., Gavrilova V.A., Demyanenko T.F. et al. Sunflower and its use in waste-free processing technology for the production of therapeutic, prophylactic and baby food products. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021. vol. 83. no. 4. pp. 181–189. (in Russian).

9 Zenkova D.V., Borisova A.V. Analysis of technologies for protein products from sunflower: concentrates, hydrolysates, isolates, texturates. News of FEFU. Economics and Management. 2021. no. 3 (99). pp. 107–116. (in Russian).

10 Merenkova S.P., Kalinina I.V., Grachev S.A. Obtaining protein concentrates from products of processing oilseed raw materials. Bulletin of SUSU. Series: Food and Biotechnology. 2025. vol. 13. no. 3. pp. 16–25. (in Russian).

11 Usenya Yu.S., Gartovannaya E.A., Kochetkova A.A. Prospects for the use of secondary products of oilseed processing for enriching food concentrates. Food Industry: Science and Technologies. 2020. vol. 13. no. 1. pp. 28–35. (in Russian).

12 Krylova I.V., Fedorov A.V., Domoroshchenkova M.L., Demyanenko T.F., Shaginova L.O. Extraction of sunflower protein using ultrasonic radiation. New Technologies. 2024. vol. 20. no. 2. pp. 81–89. doi: 10.47370/2072-0920-2024-20-2-81-89 (in Russian).

13 Psalomshchikov E.V., Doroshenko V.A., Oleinik D.S. Review of methods for obtaining protein concentrate and isolate from sunflower cake and meal. In: Modern Problems of Technique and Technology of Food Production: Conference Proceedings. 2022. p. 198. (in Russian).

14 Krylova I.V., Domoroshchenkova M.L., Demyanenko T.F. et al. Obtaining a protein ingredient with increased water-holding capacity from sunflower meal. Technique and Technology of Food Production. 2025. vol. 55. no. 2. pp. 352–363. (in Russian).

15 Moskvicheva E.V., Fedinishina E.Yu., Snyatskaya Yu.A. Development of technology for specialized snack products with sunflower seed protein concentrate. Scientific Journal of ITMO University. Series: Processes and Apparatus for Food Production. 2023. no. 3 (57). pp. 31–39. (in Russian).

16 Degtyarev I.A., Fomenko I.A., Mizheva A.A. et al. Protein preparations from rapeseed processing waste: a review of the current state and development prospects of existing technologies. Food Systems. 2023. vol. 6. no. 2. pp. 159–170. (in Russian).

17 Sadykova E.O., Sokolov I.Yu., Selifanov A.V. et al. Alternative sources of food protein: concentrate from Methylococcus capsulatus bacteria, composition characteristics and biological value. Problems of Nutrition. 2023. vol. 92. no. 3 (547). pp. 36–44. (in Russian).

18 Velyaev Yu.O., Gnilitskaya T.I. IR spectroscopic study of protein-containing products obtained during the processing of sunflower seeds. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2022. no. 7-1. pp. 79–83. (in Russian).

19 Stepuro M.V., Lobanov V.G., Shcherbakov V.G. The influence of treatment of protein concentrates from sunflower seeds with succinic acid solution on their functional properties. News of Universities. Food Technology. 2006. no. 2-3. pp. 71–72. (in Russian).

20 Pomorova Yu.Yu., Pyatovsky V.V., Beskorovayny D.V., Bolkhovitina Yu.S. Characteristics, methods of isolating the protein fraction of seeds of major oilseeds (review). Oil Crops. 2019. iss. 4. pp. 161–169. (in Russian).

Сведения об авторах

Максим В. Копылов к.т.н., доцент, кафедра машин и аппаратов производственных процессов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kopylov-maks@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-2678-2613

Руслан У. Умарханов к.х.н., доцент, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, rus_270487@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5113-6096

Алексей А. Берестовой к.т.н., доцент, кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, berestovoy_1991@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-2255-9414

Александр В. Петриков аспирант 2 года обучения, кафедра машин и аппаратов производственных процессов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, petrik036@yandex.ru

Information about authors

Maxim V. Kopylov Dr. Sci. (Engin.), associate professor, machinery and apparatus for industrial processes department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kopylov-maks@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-2678-2613

Ruslan U. Umarkhanov Cand. Sci. (Chem.), associate professor, physical and analytical chemistry department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, rus_270487@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5113-6096

Alexey A. Berestovoy Cand. Sci. (Engin.), associate professor, information security department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, berestovoy_1991@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-2255-9414

Alexander V. Petrikov second-year phd student, machinery and apparatus for industrial processes department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, petrik036@yandex.ru

Вклад авторов

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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 10/08/2026	**После редакции** 17/08/2026	**Принята в печать** 07/09/2026

Received 10/08/2026	**Accepted in revised** 17/08/2026	**Accepted** 07/09/2026