



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-3-8>

УДК: 66:613.26:664.87:665.9.049:636.085.16:577.19

Тип статьи: обзорная

Type of article: review

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

✉ Подолец А.М.¹, Захаренко А.М.¹, Разгонова С.А.¹, Голохваст К.С.¹, Разгонова М.П.²

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Дальневосточная опытная станция – филиал Всероссийского института генетических
ресурсов растений им. Н.И. Вавилова
Владивосток, Россия

✉ e-mail: podoletsam@sfscs.ru

В статье представлен обзор литературы, посвященной биоактивным веществам и инновационным методам экстракции биологически активных веществ из растительного сырья, обсуждается необходимость разработки новых методов экстракции для сохранения структурных и функциональных свойств экстрагируемых соединений. Исследование включает анализ недавних публикаций по методам экстракции и библиометрическое картирование с использованием программного обеспечения VOSviewer. Авторы рассматривают различные методы, включая сверхкритическую флюидную экстракцию, ферментацию, ультразвуковую и микроволновую обработку. Особое внимание уделено комбинированным методам, таким как ферментная экстракция с применением ультразвука и микроволн. Определены достоинства и недостатки новых методов экстракции, а также комбинаций техник с точки зрения повышения потенциала извлечения биоактивных соединений из растительного сырья. Работа призвана стимулировать интерес к развитию новых методов экстракции и продвижению исследований в этой области.

Ключевые слова: обзор литературы, биоактивные соединения, экстракция, растительное сырье

INNOVATIVE METHODS FOR EXTRACTING USEFUL SUBSTANCES FROM PLANT RAW MATERIALS: LITERATURE REVIEW

✉ Podolets A.M.¹, Zakharenko A.M.¹, Razgonova S.A.¹, Golokhvast K.S.¹, Razgonova M.P.²

¹Siberian Federal Scientific Centry of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

²Far East Experimental Station — Branch of the N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources
Vladivostok, Russia

✉ e-mail: podoletsam@sfscs.ru

The article presents a review of literature on bioactive substances and innovative methods of extraction of biologically active substances from plant raw materials, discusses the need to develop new extraction methods to preserve the structural and functional properties of the extracted compounds. The study includes analysis of recent publications on extraction methods and bibliometric mapping using VOSviewer software. The authors review various methods including supercritical fluid extraction, fermentation, ultrasonic and microwave processing. Special attention is given to combined methods such as enzyme extraction using ultrasound and microwaves. The advantages and disadvantages of new extraction methods, as well as combinations of techniques in terms of increasing the potential for extraction of bioactive compounds from plant raw materials are determined. The work is intended to stimulate interest in the development of new extraction methods and to promote research in this field.

Keywords: literature review, bioactive compounds, extraction, plant material

Для цитирования: Подолец А.М., Захаренко А.М., Разгонова С.А., Голохваст К.С., Разгонова М.П. Инновационные методы извлечения полезных веществ из растительного сырья: обзор литературы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. Т. 54. № 3. С. 70–78. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-3-8>

For citation: Podolets A.M., Zakharenko A.M., Razgonova S.A., Golokchvast K.S., Razgonova M.P. Innovative methods for extracting useful substances from plant raw materials: literature review. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2024, vol. 54, no. 3, pp. 70–78. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-3-8>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Растительные продукты в питании человека имеют очень большое значение. С древнейших времен растения благодаря своим питательным и лекарственным свойствам являются одним из элементов здорового образа жизни, а их биоактивные соединения играют важнейшую роль в поддержании здоровья. Многовековой опыт применения человеком лекарственных растений способствовал возникновению на современном этапе передовых методов их обработки и использования¹.

Необходимость создания новых методов экстракции для сохранения структурных и функциональных свойств экстрагируемых соединений становится все более актуальной. Этому вопросу посвящено достаточно много работ, в которых изучаются новые и старые методы.

Основные цели данного обзора – кратко рассмотреть ряд недавно опубликованных исследований по инновационным методам экстракции биологически активных веществ из растительного сырья, а также произвести анализ литературы по этой теме.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В процессе анализа публикаций было использовано программное обеспечение для библио-метрического картирования VOSviewer, представляющее собой разработанную двумя голландскими учеными программу для построения и просмотра библиометрических карт. Программа находится в свободном доступе для сообщества библиометрических исследований. VOSviewer можно применять, например, для построения карт авторов или журналов на основе данных о совместном цитировании или для построения карт ключевых слов на основе данных

об их совместной встречаемости. Программа предлагает инструменты просмотра, которые позволяют детально изучить библиометрические карты. Большинство компьютерных программ, используемых для составления библиометрических карт, не отображает такие карты удовлетворительным образом. При построении карты VOSviewer использует методы VOS (разработчики – Нис Ян ван Эк и Людо Уолтман)^{2, 3}, где VOS означает «визуализация сходства». Таким образом, программа может отображать карты, построенные не только с помощью VOS, но и с помощью многомерного масштабирования и других методов анализа и визуализации информации. Данные могут быть загружены автоматически через ПО VOSviewer при использовании функции скачивания через поисковой запрос по ключевым словам из базы OpenAlex, представляющей собой находящийся в открытом доступе указатель научных работ, авторов, мест, учреждений и концепций [1].

На рис. 1 представлен результат картирования научных работ, опубликованных с 2018 г., по ключевым словам «экстракция» и «биоактивные» (англ. *extraction* + *bioactive*), находящимся в названии статей (а), в аннотации (б) и во всем тексте (в). На рис. 1, б изображена та же карта с выделенным кластером «food science» и цветовой дифференциацией по годам публикации статей. Картирование показывает связанность элементов запроса, определяемую на основе количества документов, в которых они встречаются вместе. Заявленные ключевые слова обнаружены в названии 21 научной работы. При этом найдено 146 связанных ключевых слов, по которым построена карта с распределением по цветам. Наличие ключевых слов в аннотации зафиксировано в 21 документе, в полном тек-

¹Petrovska B. Historical review of medicinal plants' usage // *Pharmacognosy Reviews*. 2012. Vol. 6. N 11. P. 1.

²van Eck N.J., Waltman L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping // *Scientometrics*. 2009. Vol. 84. N 2. P. 523–538.

³Perianes-Rodriguez A., Waltman L., van Eck N.J. Constructing bibliometric networks: a comparison between full and fractional counting // *Journal of Informetrics*. 2016. Vol. 10. N 4. P. 1178–1195.

Для данного обзора литературы была построена карта, в которой родство элементов определяется по количеству общих ссылок. В качестве элементов выбраны наиболее цитируемые статьи авторов, в работах которых присутствуют те же ключевые слова. На рис. 2 представлен результат картирования. Всего было найдено 653 документа, из них 215 опубликованы не ранее 2018 г. На основе библиометрических данных этих 215 работ построена карта с цветовой дифференциацией по годам.

Карта, представленная на рис. 2, показывает разнообразие публикаций за 2018–2023 гг. наиболее цитируемых авторов, у которых в тексте упоминается экстракция био-

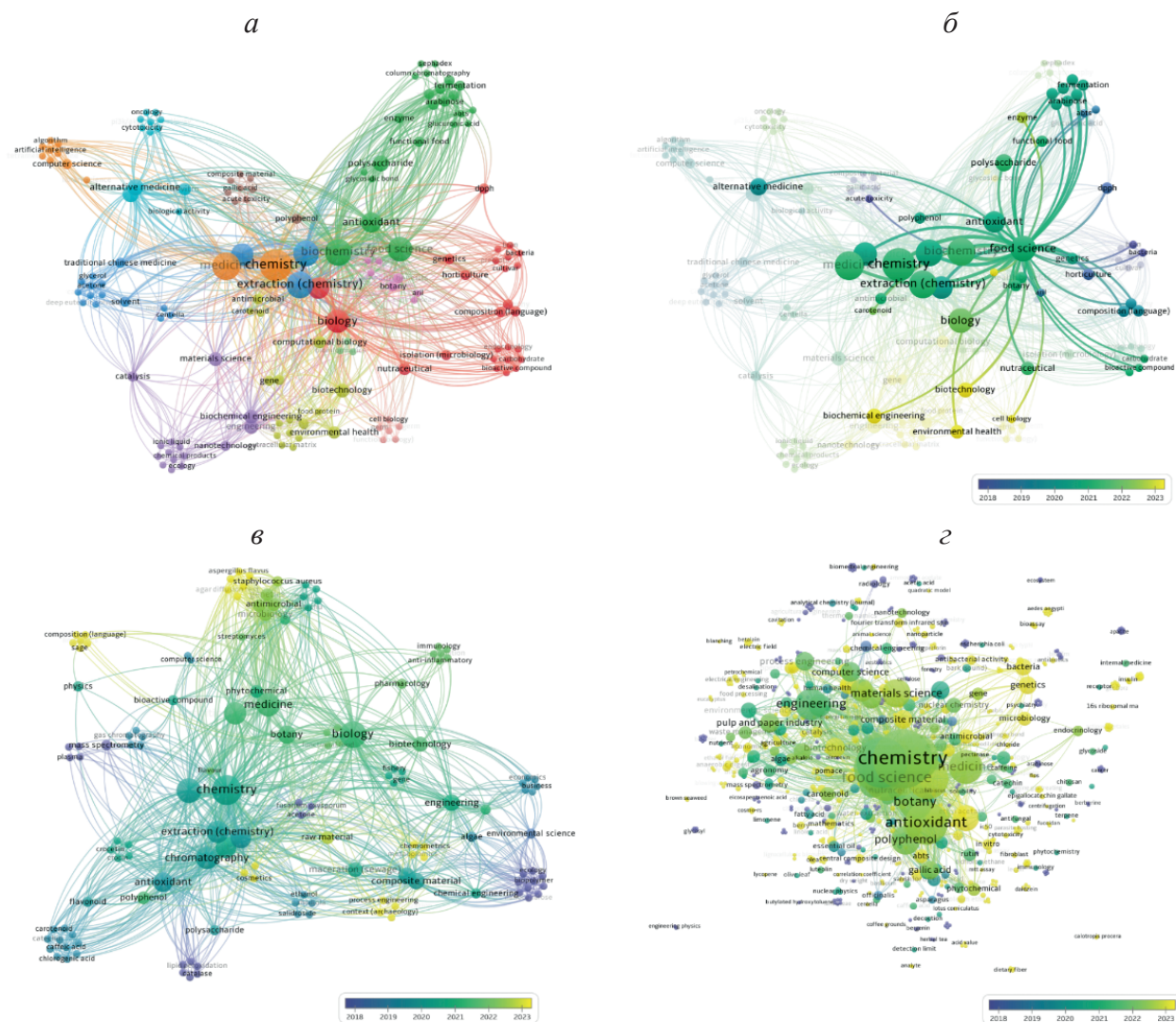


Рис. 1. Результат библиометрического картирования с анализом связанности элементов
Fig. 1. The results of bibliometric mapping with co-occurrence analysis

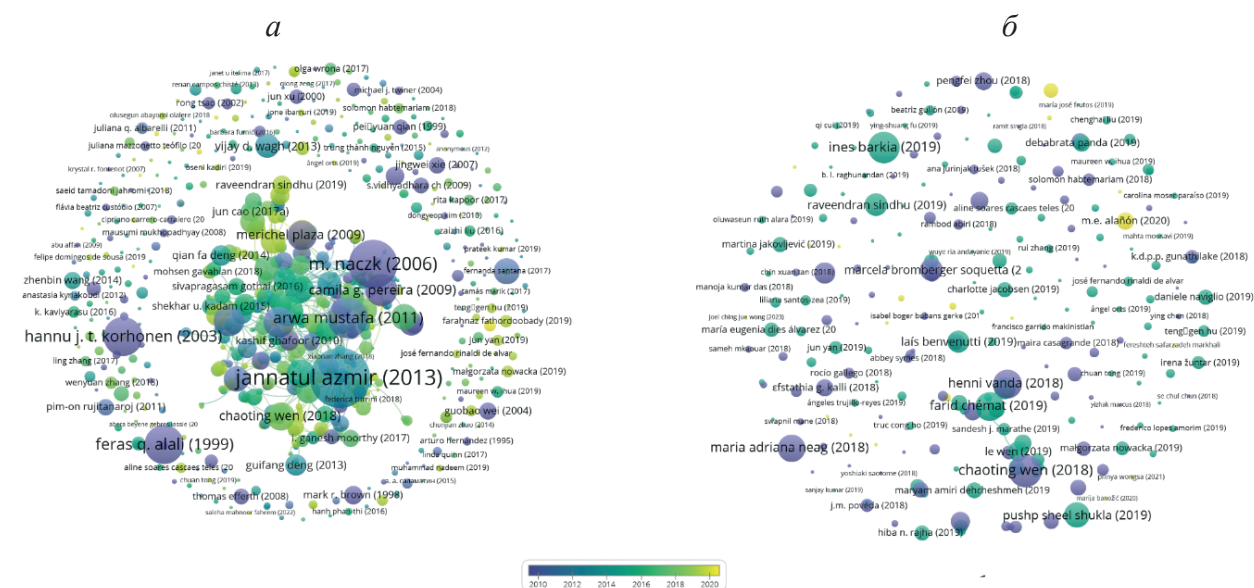


Рис. 2. Результат библиометрического картирования по запросу данных из базы OpenAlex по ключевым словам *extraction + bioactive*:

a – за все время; *б* – с 2018 г.

Fig. 2. Result of bibliometric mapping on data query from OpenAlex database for the keyword phrase *extraction + bioactive*:

a – for all time; *b* – since 2018

активных соединений, а количество ссылок составляет не менее 30. Размер круга определяет цитируемость, отмеченные желтым цветом круги отражают самые свежие публикации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Далее представлен краткий обзор литературы о биоактивных веществах и инновационных методах экстракции.

1. Извлечение биоактивных веществ из растительных продуктов

В своей недавно опубликованной обзорной статье ученые из Индии указали на то, что извлечение биологически активных соединений из пищевых продуктов требует тщательного учета различных физико-химических параметров, включая растворитель, концентрацию, температуру, давление и время [2]. Более того, авторы отмечают, что эти факторы не связаны друг с другом по своей природе, но при их сочетании меняются не только эффективность экстракции, но и стоимость процесса.

Международная группа ученых опубликовала обзор биоактивных соединений цитрусовых, в котором представлены исчерпывающие сведения о составе и пользе для здоровья каротиноидов, флавоноидов, лимоненоидов и терпенов [3]. Авторы указывают на существующие проблемы и недостаточность изученности (например, клеточных и молекулярных механизмов функционирования биоактивных веществ цитрусовых в организме), рассуждают о возможностях переработки отходов цитрусовых, которые потенциально могут служить недорогим и экологически чистым источником биоактивных веществ. Специалисты подчеркивают необходимость дальнейших исследований в контексте эффективного извлечения биоактивных веществ из отходов цитрусовых фруктов.

Исследователи из Индонезии рассматривают в своей работе терпены и терпеноиды (основные биоактивные соединения эфирных масел), их роль в поддержании здоровья человека и потенциально возможное применение в качестве натуральных пищевых консервантов [4]. В статье приведены современные знания о применении эфирных масел в

фармацевтической и медицинской промышленности, описан основной спектр биологической активности эфирных масел, включая противораковую, противомикробную, противовоспалительную, антиоксидантную и противоаллергическую.

В публикации ученых из Германии представлены обзор имеющихся баз данных по составу более чем 400 000 натуральных продуктов и наиболее полный список открытых источников, в которых перечислены биоактивные соединения, обнаруженные в растениях и продуктах [5]. В статье также содержится интересная информация: например, перечислено пять наиболее часто встречающихся метаболитов, выявленных на основе анализа 50 открытых баз данных (см. рис. 3).

II. Инновационные методы экстракции

Жидкостно-жидкостная и жидкостно-твердая экстракция

Ученые из Арктического университета Норвегии сравнивали методы экстракции жидкость – жидкость с использованием этилацетата и жидкость – твердое вещество с применением смолы в процессе выделения натуральных микробных продуктов для

приготовления экстракта из бактериальной культуры [6]. В процессе экстракции были использованы смола и ферментативный бульон с натуральными продуктами. Авторы предположили, что оба метода экстракции совершенно непригодны для очень полярных и гидрофильных соединений. Однако методы жидкость – жидкость и жидкость – твердое вещество сопоставимы при экстракции натуральных продуктов из микробного ферментационного бульона или водных растворов при разных уровнях pH. Жидкостно-жидкостный экстракт содержит меньше компонентов среды, но этот метод меньше подходит при экстракции более крупных культур из-за высокого расхода органических растворителей.

Сверхкритическая флюидная экстракция

Коллектив ученых из Ирана в своей обзорной статье рассмотрел возможности использования метода сверхкритической флюидной экстракции для извлечения масел из семян, охарактеризовал соответствующие системы экстракции, связанные с экстракцией сверхкритическим углекислым газом, включая механизмы экстракции, параметры, используемые для экстракции по методологии поверхности отклика для оптимизации процесса [7].

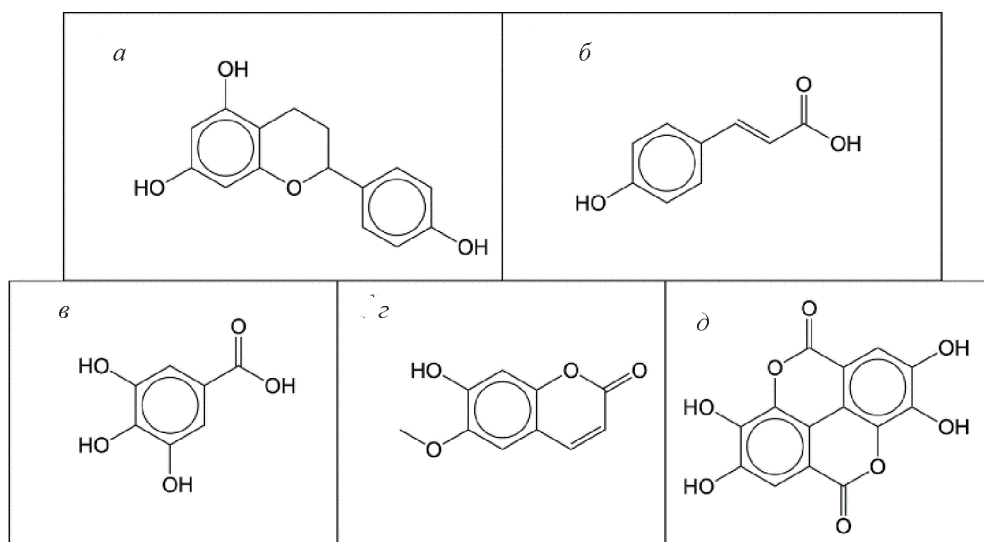


Рис. 3. Молекулы, наиболее часто упоминаемые в открытых базах данных:

a – общая самая большая субструктура, обнаруженная в пяти наиболее часто встречающихся молекулах;

б – кумаровая кислота; *в* – галловая кислота; *г* – скополетин; *д* – эллаговая кислота

Fig. 3. The most frequently occurring molecules in public databases:

a – the common largest substructure in the five most frequently occurring molecules; *б* – coumaric acid; *в* – gallic acid; *г* – scopoletin; *д* – ellagic acid

В работе объединены результаты исследований различных авторов, представлены таблицы с указанием оптимальных параметров для семян граната, гурума, бабассу, укубы, чиа, белой горчицы и др. Кроме того, предложены гибридные схемы (в частности, с использованием ультразвука), проведен сравнительный анализ СК-экстракции и традиционных методов получения масла из семян.

Группой авторов из Южной Америки опубликован обзор, в котором рассматривается потенциал натуральных продуктов в извлечении флавоноидов с помощью так называемых «зеленых» растворителей и передовых методов, включая сверхкритическую флюидную экстракцию [8]. Статья призвана способствовать пересмотру направлений совершенствования доступных методов, предлагая более широкий простор для понимания экстракции флавоноидов из различных матриц, которые будут изучены исследователями, работающими в этой области. В статье приводятся ссылки на другие обзоры, посвященные одному или нескольким методам экстракции, соединениям и классам соединений, а также типу ткани и растений. Из-за сложной природы матрицы растительного сырья и разнообразия химических характеристик флавоноидов ученые пришли к единому мнению, что на современном этапе не существует единого и стандартного метода, который можно было бы использовать для каждого материала или флавоноида, экстрагируемого в настоящее время.

Экстракция с помощью импульсного электрического поля (PEF) и высоковольтных электрических разрядов (HVED)

Международной группой ученых представлены результаты исследования влияния метода экстракции на извлечение биоактивных фенольных соединений из побочных продуктов пищевой промышленности [9]. В статье содержится информация о передовых технологиях устойчивого и эффективного извлечения фенольных соединений из растительных матриц, включая нетермические и электрохимические методы, такие как PEF и HVED. Кроме того, объясняется сложность решения проблемы композиционной гетеро-

генности фенольных фракций из растительных матриц, рассматриваются важные факторы, влияющие на извлечение фенольных соединений.

В статье португальских исследователей описаны методы экстракции пигментов из микроводорослей и цианобактерий. Авторы отмечают, что PEF и HVED являются инновационными методами, которые еще не были использованы для промышленного применения и, несмотря на свою высокую эффективность, все же имеют недостаток – высокое энергопотребление [10].

Экстракция с помощью ультразвука

Группа китайских специалистов недавно представила всеобъемлющий обзор механизмов ультразвуковой экстракции, различных ультразвуковых устройств, а также способов их применения для экстракции биоактивных соединений [11]. Авторами рассмотрены потенциальные возможности применения ультразвуковой экстракции для производства функциональных и здоровых продуктов питания. В статье содержатся данные о получении различных соединений из лекарственных и масличных растений с помощью метода ультразвуковой экстракции: из розмарина, майорана, шафрана, мяты, кожуры граната, джаботикабы, апельсина, плодов лотоса, зизифуса, околоплодников лонгана, ягод красной малины, зубчиков чеснока, семян тмина, выжимки томатов и др.

Экстракция с помощью ферментов

Статья индийских ученых посвящена сравнительному анализу различных методов экстракции биоактивных соединений (ферментов, органических кислот и т.д.), получаемых из отходов фруктов и овощей [12]. Приводится методика ферментативной предварительной обработки, которую авторы признали как новый и полезный способ извлечения связанных соединений и повышения их выхода. В публикации также подробно описаны разные виды фенольных компонентов и ферментов в различных пищевых продуктах.

Другая группа индийских ученых опубликовала обзорную статью, посвященную различным аспектам, связанным с экстракцией

с помощью ферментов [13]. В работе рассмотрены возможности применения ферментов для извлечения различных биомолекул, таких как полифенолы, масла, полисахариды, ароматизаторы и красители; описаны технологии усиленной экстракции, сочетающие традиционные методы с применением ультразвука, микроволн, высокого давления и сверхкритического углекислого газа; затронута тема иммобилизации ферментов на магнитных наночастицах, что может повысить эксплуатационные характеристики системы экстракции за счет многократного использования дорогостоящих ферментов, что делает данный процесс промышленно и экономически целесообразным.

Комбинации новых технологий

В обзорной статье ирландских исследователей рассмотрены новые технологии экстракции ультразвуком, микроволнами, ферментами и их комбинации, обобщены механизмы их действия, преимущества и недостатки (в частности, проблемы экстракции фитобιοактивных соединений из растительного сырья) [14]. Показано, что комбинации методов являются взаимодополняющими и имеют более перспективный потенциал.

Другой обзор посвящен методам и технологиям (традиционным, новым и интеграционным), используемым для извлечения биологически активных соединений растительного происхождения, а также их достоинствам и недостаткам [15]. В статье описаны комбинированные методы, такие как ферментная экстракция с помощью ультразвука и микроволн, комбинации ультразвука, электрических импульсов и высокого гидростатического давления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комбинированные методы извлечения биологически активных веществ показывают интересные результаты, которые часто способствуют повышению эффективности, однако эти процессы еще недостаточно изучены. Ученые подчеркивают важность дальнейших исследований в области комбинированных методов извлечения биологически активных веществ из растительного сырья.

Они рекомендуют проводить более глубокие исследования, направленные на оптимизацию процессов экстракции и повышение эффективности получения биологически активных соединений. Важно обратить внимание на разработку новых технологий и методик, способных улучшить качество и увеличить количество извлекаемых соединений. При создании новых методов экстракции необходимо учитывать как экономические, так и экологические аспекты. Нужно продолжать исследования для оценки потенциала комбинированных методов в промышленных масштабах. По мнению ученых, разработка инновационных подходов к экстракции биоактивных соединений должна вестись в составе междисциплинарных групп. Кроме того, приоритетными направлениями должны стать стандартизация процессов экстракции и разработка отраслевых рекомендаций. Дальнейшие исследования в этой области имеют большое значение для повышения эффективности и устойчивости процессов экстракции биоактивных соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Priem J., Piwowar H., Orr R.* OpenAlex: a fully-open index of scholarly works, authors, venues, institutions, and concepts. 2022. May. DOI: arxiv.org/abs/2205.01833.
2. *Kunjiappan S., Panneerselvam T., Parasuraman P., Ram Kumar Pandian S., Vigneshwaran R., Ponnusamy P., Murugananthan G., Senthil Rajan D., Murugesan S.* Impact of Physicochemical Parameters on Effective Extraction of Bioactive Compounds from Natural Sources: an Overview // *Current Bioactive Compounds*. 2022. Vol. 18. N 4. P. 17. DOI: 10.2174/1573407217666210525143836.
3. *Ramesh Kumar S., Arina R., Kavita S., Parchuri P., Xiaomin Sh., Karekal Girinur Mallikarjuna G., Young-Soo K.* Bioactive Compounds of Citrus Fruits: a Review of Composition and Health Benefits of Carotenoids, Flavonoids, Limonoids, and Terpenes // *Antioxidants*. 2022. Vol. 11. N 2. P. 239. DOI: 10.3390/antiox11020239.
4. *Ayu M., Reka Mustika S., Ayun Dwi A., Budiman Ya., Nur Rahma R., Talha Bin E., Firzan N., Jesus S.-G.* Terpenes and terpenoids as

- main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives // *Food Chemistry*. 2022. Vol. 13. P. 100217. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.100217.
5. Sorokina M., Steinbeck C. Review on natural products databases: where to find data in 2020 // *Journal of Cheminformatics*. 2020. Vol. 12. N 1. P. 12. DOI: 10.1186/s13321-020-00424-9.
6. Schneider Ya.K., Jorgensen S.M., Andersen J.H., Hansen E.H. Qualitative and Quantitative Comparison of Liquid – Liquid Phase Extraction Using Ethyl Acetate and Liquid – Solid Phase Extraction Using Poly-Benzyl-Resin for Natural Products // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11. N 21. P. 10241. DOI: 10.3390/app112110241.
7. Ahangari H., King J.W., Ehsani A., Yousefi M. Supercritical fluid extraction of seed oils: a short review of current trends // *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 111. P. 249–260. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.02.066.
8. Chaves J.O., de Souza M.C., da Silva L.C., Lachos-Perez D., Torres-Mayanga P.C., da Fonseca Machado A.P., Forster-Carneiro T., Vázquez-Espinosa M., González-de-Peredo A.V., Barbero G.F., Rostagno M.A. Extraction of Flavonoids From Natural Sources Using Modern Techniques // *Frontiers in Chemistry*. 2020. Vol. 8. P. 507887. DOI: 10.3389/fchem.2020.507887.
9. Gil-Martín E., Forbes-Hernández T., Romero A., Cianciosi D., Giampieri F., Battino M. Influence of the extraction method on the recovery of bioactive phenolic compounds from food industry by-products // *Food Chemistry*. 2022. Vol. 378. P. 131918. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131918.
10. Pagels F., Pereira R.N., Vicente A.A., Guedes A.C. Extraction of Pigments from Microalgae and Cyanobacteria: a Review on Current Methodologies // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11. N 11. P. 5187. DOI: 10.3390/app11115187.
11. Chaoting W., Jixian Z., Haihui Zh., Courage Sedem D., Manyakara Z., Yuqing D., Haile M., Xiaoping L. Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops: a review // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2018. Vol. 48. P. 538–549. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2018.07.018.
12. Narashans Alok S., Sunil P., Sunil Sh., Elhadi M.Ya., Lobo M.G. Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2018. Vol. 17. N 3. P. 512–531. DOI: 10.1111/1541-4337.12330.
13. Nadar S.S., Rao P., Rathod V.K. Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology: a review // *Food Research International*. 2018. Vol. 108. P. 309–330. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.03.006.
14. Le W., Zhihang Zh., Da-Wen S., Saravana Periaswamy S., Brijesh K.T. Combination of emerging technologies for the extraction of bioactive compounds // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019. Vol. 60. N 11. P. 1826–1841. DOI: 10.1080/10408398.2019.1602823.
15. Jha A.K., Sit N. Extraction of bioactive compounds from plant materials using combination of various novel methods: a review // *Trends in Food Science & Technology*. 2022. Vol. 119. P. 579–591. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.11.019.

REFERENCES

1. Priem J., Piwowar H., Orr R. OpenAlex: a fully-open index of scholarly works, authors, venues, institutions, and concepts. 2022. May. DOI: arxiv.org/abs/2205.01833.
2. Kunjiappan S., Panneerselvam T., Parasuraman P., Ram Kumar Pandian S., Vigneshwaran R., Ponnusamy P., Murugananthan G., Senthil Rajan D., Murugesan S. Impact of Physicochemical Parameters on Effective Extraction of Bioactive Compounds from Natural Sources: an Overview. *Current Bioactive Compounds*, 2022, vol. 18, no. 4, p. 17. DOI: 10.2174/1573407217666210525143836.
3. Ramesh Kumar S., Arina R., Kavita S., Parchuri P., Xiaomin Sh., Karekal Girinur Mallikarjuna G., Young-Soo K. Bioactive Compounds of Citrus Fruits: a Review of Composition and Health Benefits of Carotenoids, Flavonoids, Limonoids, and Terpenes. *Antioxidants*, 2022, vol. 11, no. 2, p. 239. DOI: 10.3390/antiox11020239.
4. Ayu M., Reka Mustika S., Ayun Dwi A., Budiman Ya., Nur Rahma R., Talha Bin E., Firzan N., Jesus S.-G. Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chemistry*, 2022, vol. 13, p. 100217. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.100217.
5. Sorokina M., Steinbeck C. Review on natural products databases: where to find data in 2020.

- Journal of Cheminformatics*, 2020, vol. 12, no. 1, p. 12. DOI: 10.1186/s13321-020-00424-9.
6. Schneider Ya.K., Jorgensen S.M., Andersen J.H., Hansen E.H. Qualitative and Quantitative Comparison of Liquid – Liquid Phase Extraction Using Ethyl Acetate and Liquid – Solid Phase Extraction Using Poly-Benzyl-Resin for Natural Products. *Applied Sciences*, 2021, vol. 11, no. 21, p. 10241. DOI: 10.3390/app112110241.
 7. Ahangari H., King J.W., Ehsani A., Yousefi M. Supercritical fluid extraction of seed oils: a short review of current trends. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, vol. 111, pp. 249–260. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.02.066.
 8. Chaves J.O., de Souza M.C., da Silva L.C., Lachos-Perez D., Torres-Mayanga P.C., da Fonseca Machado A.P., Forster-Carneiro T., Vázquez-Espinosa M., González-de-Peredo A.V., Barbero G.F., Rostagno M.A. Extraction of Flavonoids From Natural Sources Using Modern Techniques. *Frontiers in Chemistry*, 2020, vol. 8, p. 507887. DOI: 10.3389/fchem.2020.507887.
 9. Gil-Martín E., Forbes-Hernández T., Romero A., Cianciosi D., Giampieri F., Battino M. Influence of the extraction method on the recovery of bioactive phenolic compounds from food industry by-products. *Food Chemistry*, 2022, vol. 378, p. 131918. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131918.
 10. Pagels F., Pereira R.N., Vicente A.A., Guedes A.C. Extraction of Pigments from Microalgae and Cyanobacteria: a Review on Current Methodologies. *Applied Sciences*, 2021, vol. 11, no. 11, p. 5187. DOI: 10.3390/app11115187.
 11. Chaoting W., Jixian Z., Haihui Zh., Courage Sedem D., Manyakara Z., Yuqing D., Haile M., Xiaoping L. Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops: a review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2018, vol. 48, pp. 538–549. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2018.07.018.
 12. Narashans Alok S., Sunil P., Sunil Sh., Elhadi M.Ya., Lobo M.G. Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2018, vol. 17, no. 3, pp. 512–531. DOI: 10.1111/1541-4337.12330.
 13. Nadar S.S., Rao P., Rathod V.K. Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology: a review. *Food Research International*, 2018, vol. 108, pp. 309–330. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.03.006.
 14. Le W., Zhihang Zh., Da-Wen S., Saravana Periaswamy S., Brijesh K.T. Combination of emerging technologies for the extraction of bioactive compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2019, vol. 60, no. 11, pp. 1826–1841. DOI: 10.1080/10408398.2019.1602823.
 15. Jha A.K., Sit N. Extraction of bioactive compounds from plant materials using combination of various novel methods: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 2022, vol. 119, pp. 579–591. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.11.019.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Подолец А.М.**, аспирант, младший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: podoletsam@sfscs.ru

Захаренко А.М., кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник

Разгонова А.С., аспирант

Голохваст К.С., доктор биологических наук, директор СФНЦА РАН

Разгонова М.П., кандидат технических наук, директор Дальневосточной опытной станции

AUTHOR INFORMATION

✉ **Andrey M. Podolets**, Post-graduate Student, Junior Researcher; **address:** PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk region, 630501, Russia; e-mail: podoletsam@sfscs.ru

Alexander M. Zakharenko, Candidate of Science in Chemistry, Lead Researcher

Sofia A. Razgonova, Post-graduate Student

Kirill S. Golokhvast, Doctor of Science in Biology, Director SFSCA RAS

Maya P. Razgonova, Candidate of Science in Engineering, Director of the Far East Experimental Station

Дата поступления статьи / Received by the editors 20.10.2023

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 01.02.2024

Дата публикации / Published 22.04.2024