

Научная статья

УДК 664.34:502/504

DOI: 10.17586/2310-1164-2023-16-4-41-50

Интеграция оценки жизненного цикла в практику выбора перспективной технологии функциональных пищевых ингредиентов

А.В. Миниахметова, О.И. Сергиенко*, Д.А. Бараненко, В.С. Ильина, А.И. Лепешкин, Э.Р. Эминова

Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург

*oisergienko@itmo.ru

Аннотация. Проведена экологическая оценка технологий производства функциональных ингредиентов с онкопротекторными функциями на основе различного сырья: вторичных ресурсов – отходов производства соевого масла и растительного сырья – экстракты из лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria*) с целью определения экологического воздействия в их жизненном цикле и выбора экологически наилучшей из рассмотренных технологий. В качестве объектов исследования рассматривались следующие биологически активные вещества: микрокапсулированные фитостерины из побочных продуктов производства соевого масла и нанокапсулированные экстракты из дикорастущего и фермерского лабазника вязолистного. Применялся метод оценки жизненного цикла как инструмент определения экологического воздействия производства. Инвентаризационный анализ жизненного цикла технологий проведен на основе программного продукта SimaPro 9.1.1.1 с использованием моделей расчета EPD (2018) V1.01, ReCiPe 2016 (Midpoint (H) V1.04/World (2010) H) и IPCC 2013 (GWP 500a V1.01). На примере рассмотрения жизненного цикла функциональных ингредиентов для профилактики онкологических заболеваний, показано, что применение в качестве сырья отходов производства соевого масла является более экологически безопасным, чем использование растительных экстрактов из лабазника вязолистного дикорастущего и фермерского. Определены количественные характеристики воздействия технологий производства на окружающую среду по категориям глобальное потепление, эвтрофикация, закисление и потребление воды, подтверждающие превосходство фитостеринов из отходов производства соевого масла. Полученные результаты могут использоваться для создания отечественной информационной базы данных для обоснования выбора перспективных технологий получения биологически активных веществ и функциональных пищевых ингредиентов с учетом экологической оценки жизненного цикла.

Ключевые слова: пищевые системы; оценка жизненного цикла; устойчивая пищевая система; биологически активные вещества

Original article

Integrating life cycle assessment into best technology practices for functional food ingredients

Aigul V. Miniakhmetova, Olga I. Sergienko*, Denis A. Baranenko, Victoria S. Ilna, Artem I. Lepeshkin, Elmira R. Eminova

ITMO University, St. Petersburg, Russia

*oisergienko@itmo.ru

Abstract. The research involved environmental assessment of technologies for the production of functional ingredients with oncoprotective functions on the basis of different raw materials: secondary resources – by-products of soybean oil production and plant raw materials (extracts from *Filipendula ulmaria*) in order to determine the environmental impact in their life cycle and to select the environmentally best of the considered technologies. The following biologically active substances were considered as research objects: microencapsulated phytosterols from by-products of soya oil production and nanoencapsulated extracts from wild and farmer *Filipendula ulmaria*. Life cycle assessment method was used as a research method as a tool to assess the environmental impact of production. Life cycle inventory analysis of technologies was carried out based on SimaPro 9.1.1.1 software using EPD (2018) V1.01, ReCiPe 2016 (Midpoint (H) V1.04/World (2010) H), and IPCC 2013 (GWP 500a V1.01) calculation models. Using the life cycle of functional ingredients for cancer prevention as an example, it is shown that the use soya oil production by-products is more environmentally friendly than the use of plant extracts from wild and farmer's labdanum (*Filipendula ulmaria*). The environmental impacts of the production technologies in the categories of global warming, eutrophication, acidification, and water consumption were quantified, confirming the superiority of phytostyrene from soya oil waste. The results obtained can be used to create a domestic information database for the selection of the best technologies for the production of biologically active substances and functional food ingredients, taking into account the environmental assessment of the life cycle.

Keywords: food systems; life cycle assessment; sustainable food system; bioactive

Введение

Традиционная модель линейной цепочки производственных поставок, при которой ресурсы извлекаются, превращаются в продукты и в итоге выбрасываются как отходы, является неустойчивой, поскольку она истощает ограниченные природные ресурсы, генерирует отходы и приводит к деградации окружающей среды в долгосрочной перспективе. На смену ей приходит концепция экономики замкнутого цикла, продвигающая восстановительный и ресурсосберегающий подход, направленный на переработку, повторное использование побочных продуктов и отходов, а также их превращение в ценные вторичные ресурсы. В новых замкнутых цепочках поставок должны соблюдаться условия обеспечения безопасности пищевых производств для окружающей среды и человека. Только в этом случае сочетание передового анализа данных, устройств Интернета вещей, искусственного интеллекта и автоматизации будет способствовать созданию устойчивых и ресурсоэффективных технологических решений.

Текущие исследования показывают, что переход к устойчивым пищевым системам имеет серьезные ограничения из-за недостаточности существующих баз данных для анализа воздействия на окружающую среду [1], которые можно преодолеть путем сбора данных и использования инструментов оценки жизненного цикла для проектирования пищевых систем.

Ежегодно в мире пищевая промышленность производит большое количество отходов или побочных продуктов из различных источников. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО ООН) [2], их число составляет 1,3 млрд тонн в год, что почти треть всех производимых продуктов питания.

В качестве ответа на этот глобальный вызов в пищевой промышленности развивается тенденция глубокой переработки пищевых отходов и побочных продуктов с получением полезных микро- и макроэлементов, которые становятся сырьем для создания новых функциональных продуктов [3, 4]. Эта тенденция компаний-производителей способствует формированию производства и потребления продуктов питания, что соответствует целям в области устойчивого развития, разработанным Генеральной ассамблеей ООН на период до 2030 года¹. Кроме того, извлечение ценных веществ для создания функциональных пищевых ингредиентов из большого количества недорогих побочных продуктов или отходов может обеспечить экономическое преимущество для потенциальных заинтересованных сторон за счет перехода к замкнутой модели производства, которая активно пропагандируется как на европейском², так и на национальном уровнях³.

Системный подход к устойчивым пищевым системам предполагает интеграцию проведения оценки жизненного цикла (ОЖЦ), учета затрат в жизненном цикле, а также оценку экономической эффективности и технической осуществимости нового производства, что предоставляет дополнительную информацию и обоснование для выбора между вариантами для заинтересованных сторон [5].

Актуальность предлагаемого системного подхода к разработке технологий функциональных ингредиентов для профилактики неинфекционных заболеваний, как часть науки о питании, требует разработки теоретических основ и новых практик, учитывающих требования к качеству и экологической безопасности продукции. Решение этой задачи предполагает поиск новых видов сырья, которые не только удовлетворяют ежегодно растущий спрос на функциональные пищевые продукты, но и обеспечивают экологическое обоснование применимости наилучших технологий производства с точки зрения их воздействия на окружающую среду.

Цель данной работы – интеграция методологии оценки жизненного цикла в практику выбора наилучших технологий, способствующих созданию устойчивых пищевых систем, на примере воздействия перспективных⁴ технологий производства функциональных ингредиентов с онкопротекторными свойствами на окружающую среду.

¹Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», принята 25 сентября 2015 года

²An EU action plan for the Circular Economy. COM(2015) 614 final. European Commission, Brussels, 2.12.2015

³Распоряжение Правительства РФ от 06.10.2021 N 2816-р (ред. от 14.03.2022) Об утверждении Перечня инициатив социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года

⁴Перспективная технология – технология, находящаяся на стадии научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ или опытно-промышленного внедрения, позволяющая повысить эффективность производства и сократить эмиссии в окружающую среду (ИТС 44-2017 по наилучшим доступным технологиям «Производство продуктов питания»)

Объекты и методы исследования

В качестве объектов рассматривались технологии получения микрокапсулированных экстрактов из фермерского и дикорастущего лабазника вязолистного и микрокапсулированные фитостерины из отходов производства соевого масла [6–8]. Запатентованная технология [9] анализировалась как источник фитостеринов для получения инкапсулированных биологически активных веществ (БАВ), которые получали двумя способами: инкапсулированием липидной фракции на инкапсуляторе; инкапсулированием растительных экстрактов на распылительной сушилке.

Технологическая схема получения микрокапсулированных БАВ на основе побочных продуктов соевого масла (рисунок 1) включает процессы получения кристаллов фитостеринов и непосредственно капсул с биологически активными веществами.

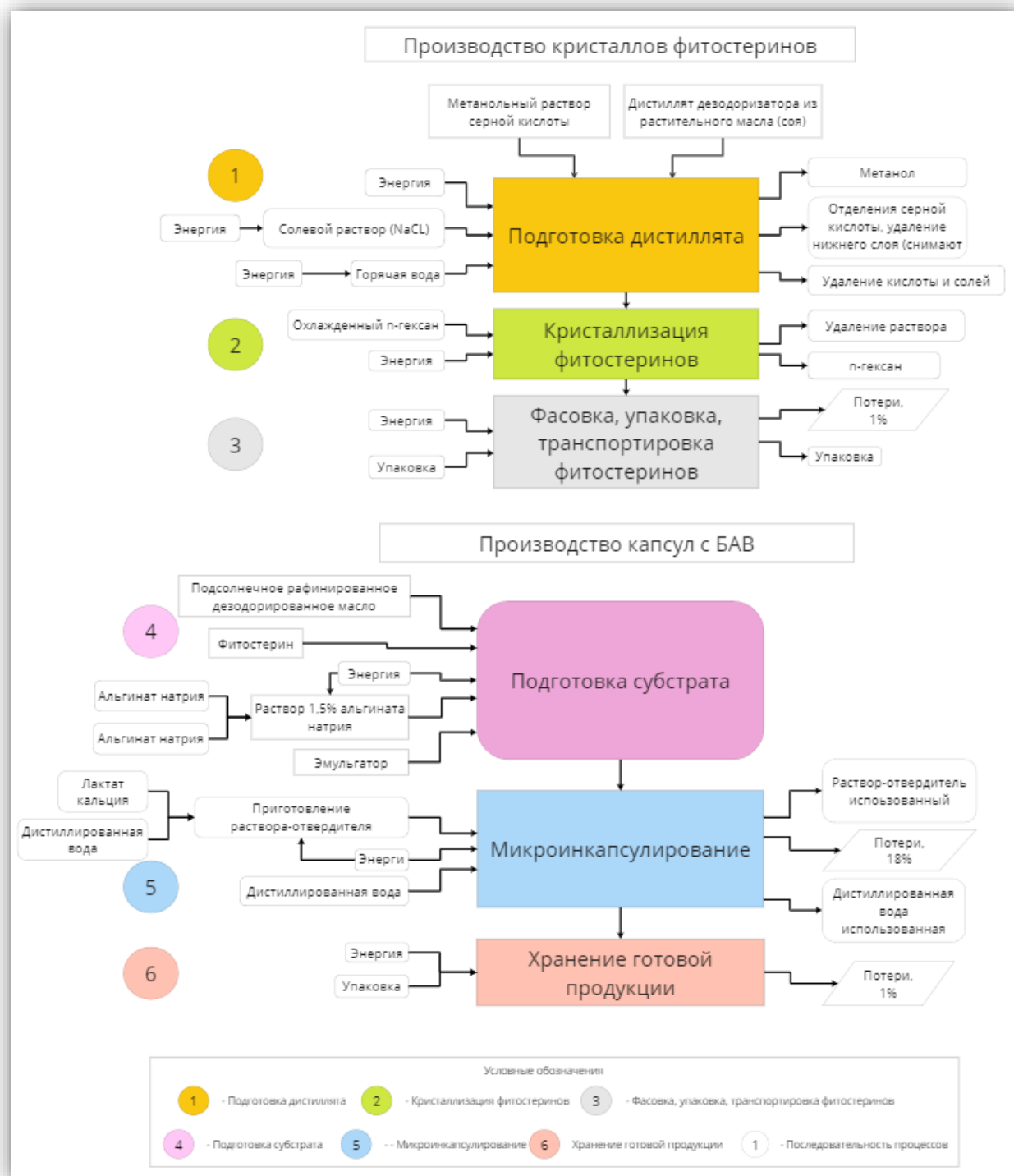


Рисунок 1 – Технологическая схема получения БАВ из побочных продуктов производства соевого масла
 Figure 1. Technological scheme for extracting biologically active substances from by-products of soybean oil production

Технологическая схема производства микрокапсулированных биологически активных веществ из растительных экстрактов из лабазника вязолистного показана на рисунке 2.

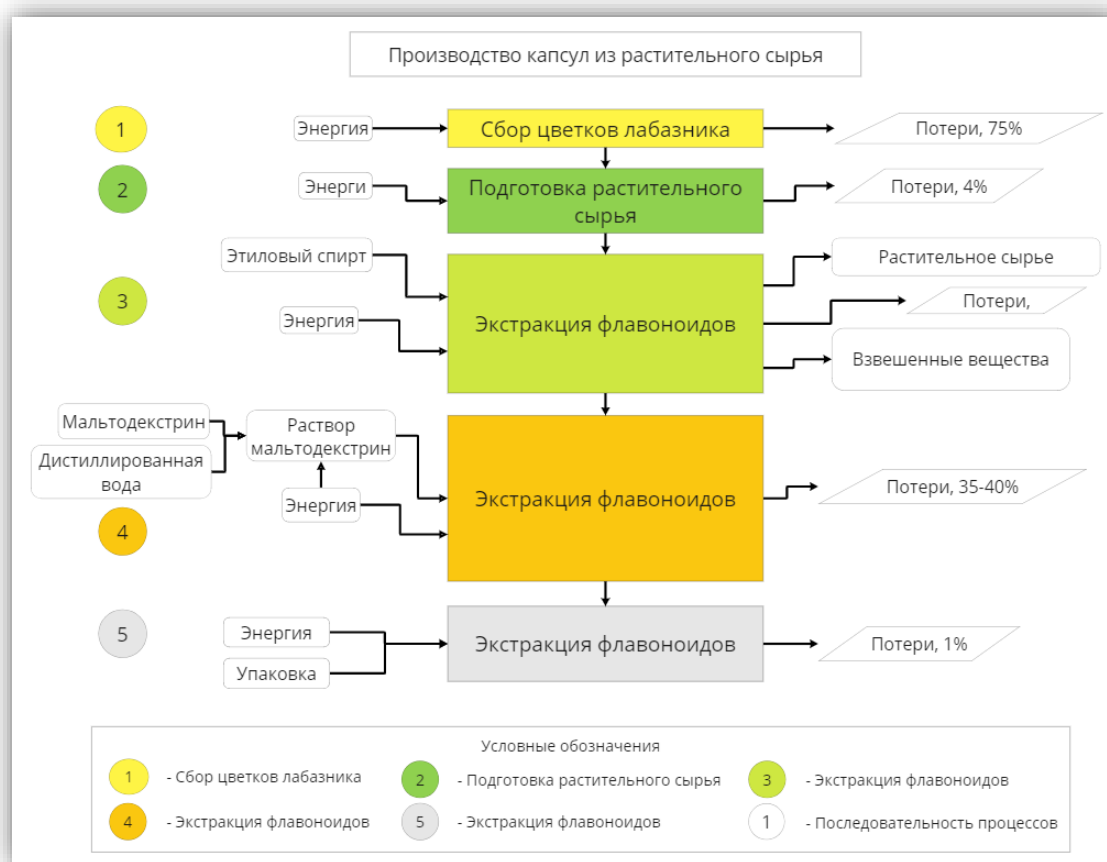


Рисунок 2 – Технологическая схема производства БАВ из лабазника вязолистного
 Figure 2. Technological scheme for the production of biologically active substances from *Filipendula ulmaria*

На этапах транспортировки выбросы в атмосферу рассчитывались согласно «Методике определения массы выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферных воздух»⁵. На основе входных и выходных данных единичных процессов технологий производства БАВ воздействие на окружающую среду рассчитывалось на одну функциональную единицу, равную 1 кг конечного продукта с учетом упаковки.

В качестве метода исследования применялась оценка жизненного цикла, как один из широко используемых в международной практике инструментов анализа экологического воздействия производства [10, 11]. ОЖЦ – стандартизированный и перспективный метод улучшения экологических аспектов продукции и сравнения вариантов технологий. Ее проведение на этапах проектирования дает возможность выбора технологий, когда система еще находится в стадии разработки и может быть изменена, например, при выборе сырья, материалов, оборудования и транспортных маршрутов, а также в моделях управления производством [12].

Цель ОЖЦ заключается в рассмотрении экологических аспектов продукта или услуги на протяжении всего жизненного цикла⁶, что позволяет определить этапы и точки жизненного цикла, которые необходимо улучшить в аспекте экологических характеристик и помочь лицам, принимающим решения, в разработке системы управления производством или определении производственной стратегии.

Инвентаризационный анализ жизненного цикла (ИАЖЦ) технологий был проведен на основе программного продукта SimaPro 9.1.1.1 с использованием руководств [13], базы данных ecoinvent 3

⁵Методика Минтранса России. Методика определения массы выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферных воздух. М.: Стандартинформ, 1993. 14 с.

⁶ГОСТ Р ИСО 14044-2019 Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Требования и рекомендации. М.: Стандартинформ, 2020. 50 с.

и моделей расчета EPD (2018) V1.01, ReCiPe 2016 (Midpoint (H) V1.04/World (2010) H) и IPCC 2013 (GWP 500a V1.01) [14, 15]. На сегодняшний день SimaPro обладает самой обширной базой прозрачных и документированных справочных данных об этапах жизненного цикла пищевых систем.

Ограничением исследования являлось отсутствие в ecoinvent Database данных по выращиванию лабазника. В качестве допущения для расчета влияния фазы выращивания лабазника была взята фермерская мята. Другое допущение состояло в том, что расход топлива автомобильным транспортом рассчитывался исходя из перевозки сырья на расстояние не более 50 км для всех технологий.

Результаты и обсуждение

Воздействие на окружающую среду биологически активных веществ из побочных продуктов производства соевого масла и лабазника вязолистного

По результатам ИАЖЦ БАВ из побочных продуктов производства соевого масла по модели EPD (рисунок 3) для всех категорий воздействия наибольший вклад вносят этап 3 «Упаковка, транспортировка фитостеринов» и этап 4 «Подготовка основания». Этапы имеют наибольшее воздействие по категориям «Глобальное потепление» и «Абиотическое истощение по ископаемому топливу». По-видимому, это связано с большими энергозатратами на этих этапах на технологические процессы упаковки, транспортировки сырья к месту производства биологически активных веществ, а также на смешение реагентов.

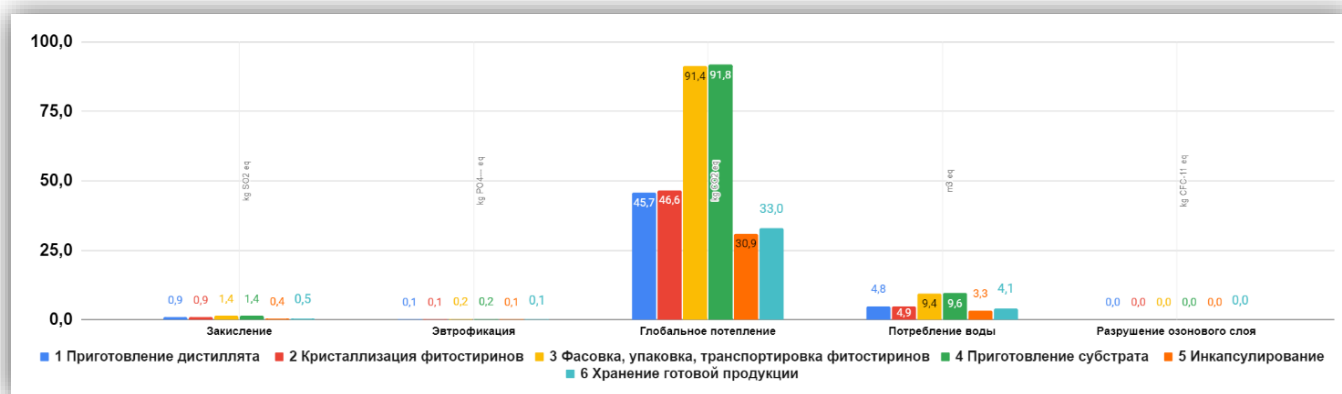


Рисунок 3 – Результаты ИАЖЦ технологии получения биологически активных веществ из побочных продуктов производства соевого масла по модели EPD

Figure 3. LCI analysis results for the technology of extracting biologically active substances from the by-products of soybean oil production using EPD model

Вклад этапа 1 «Приготовление дистиллята» высок для вышеперечисленных категорий воздействия из-за энергоемкости; вклад этапа 2 «Кристаллизация фитостеринов» также высок, что связано с необходимостью транспортировки сырья – дистиллята соевого масла – к месту переработки. Вклад этапов 5 «Инкапсулирование» и 6 «Хранение готового продукта» остается самым низким.

С использованием модели ReCiPe получены результаты воздействия, практически полностью соответствующие результатам, полученным с использованием модели EPD. По всем категориям воздействия наибольший вклад вносят этап 3 «Упаковка, транспортировка фитостеринов» и этап 4 «Подготовка субстрата». По-видимому, это так же связано с высоким потреблением энергии на этих этапах.

С использованием модели IPCC получен углеродный след по стадиям жизненного цикла технологии переработки побочных продуктов – соевого масла (рисунок 4). Наибольший вклад вносят этап 3 «Упаковка, транспортировка фитостеринов» (88,8 кг экв CO₂) и этап 4 «Подготовка субстрата» (89,2 кг экв CO₂). Это связано со значительными энергозатратами на оборудование на этапах фасовки, транспортировки сырья к месту производства БАВ и подготовки реагентов, так как именно ископаемое топливо используется для выработки энергии.

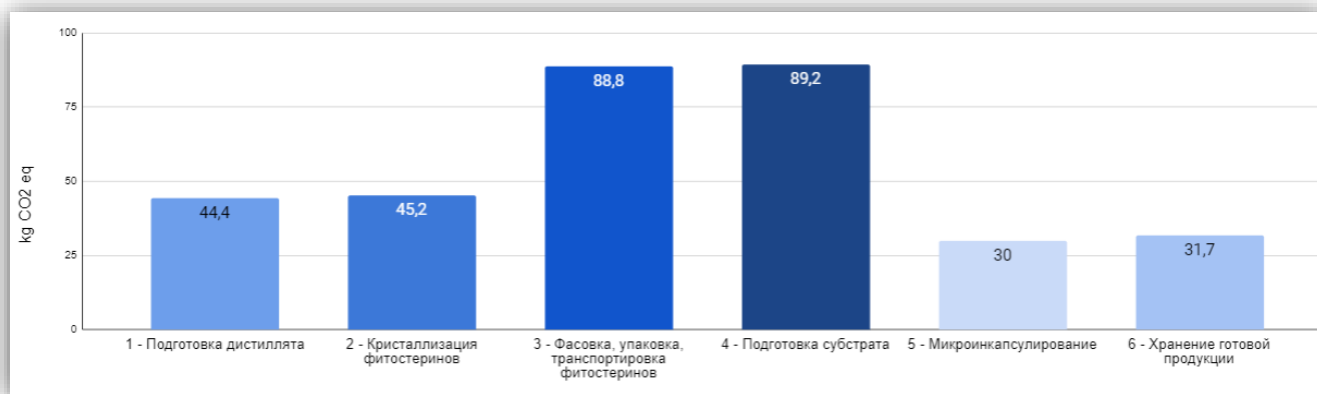


Рисунок 4 – Углеродный след производства биологически активных веществ по модели IPCC
 Figure 4. Carbon footprint of the production of biologically active substances using IPCC model

На рисунке 5 представлены количественные данные о воздействии на окружающую среду производства функциональных смесей из лабазника дикорастущего с использованием модели EPD. Основные воздействия относятся к категории «Глобальное потепление». Это можно объяснить потреблением энергии оборудованием на этапе производства.

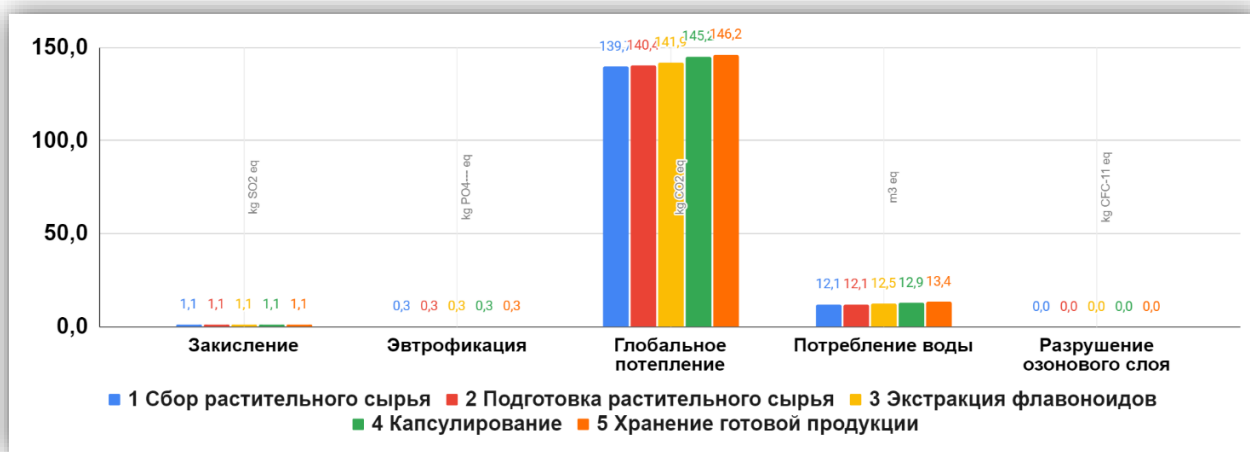


Рисунок 5 – Результаты ИАЖЦ для получения функциональных смесей из лабазника дикорастущего
 Figure 5. LCI analysis results for the production of functional mixtures form wild *Filipendula ulmaria*

На рисунке 6 представлены количественные данные о воздействии на окружающую среду производства функциональных смесей из лабазника вязолистного, выращенного в фермерском хозяйстве.

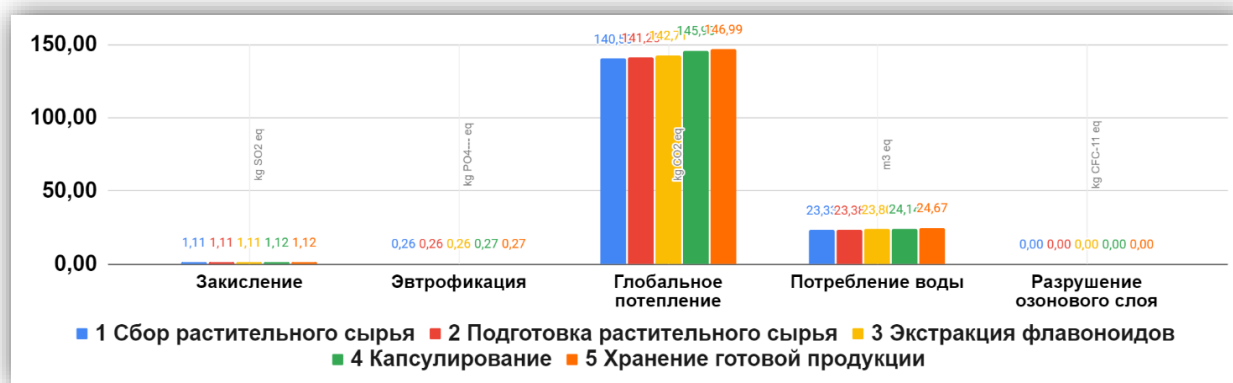


Рисунок 6 – Результаты ИАЖЦ по получению функциональных смесей из лабазника, выращенного на ферме
 Figure 6. LCI analysis results for production of functional mixtures form farmer's *Filipendula ulmaria*

По сравнению с дикорастущим лабазником экологическое воздействие фермерского лабазника возрастает по всем категориям, что связано с дополнительными затратами материалов, энергии и воды на стадии выращивания.

Сравнительная оценка технологий получения функциональных ингредиентов

Для определения наилучшей технологии получения функциональных смесей была проведена сравнительная оценка трех предложенных вариантов получения биологически активных веществ на основе трех моделей расчета экологического воздействия в программном продукте SimaPro 9.1.1.1: ReCiPe, EPD, IPCC GWP.

С использованием модели EPD на рисунке 7 сравнивается воздействие на окружающую среду конечных продуктов – функциональных смесей с использованием дикорастущего и культивируемого лабазника вязолистного и побочных продуктов производства соевого масла. Формирование функциональных смесей из побочных продуктов соевого масла является наилучшей технологией с точки зрения экологических показателей жизненного цикла.



Рисунок 7 – Сравнительная оценка жизненных циклов технологий производства БАВ по модели EPD
 Figure 7. Comparative evaluation of life production cycles for the production of biologically active substances using EPD model

Результаты для дикорастущего и фермерского лабазника практически одинаковые, существенные различия проявляются только по категории воздействия «Дефицит воды», что связано с поливом при выращивании.

Как видно из рисунка 8, технология создания функциональных смесей из отходов производства соевого масла имеет наименьший углеродный след по модели IPCC.

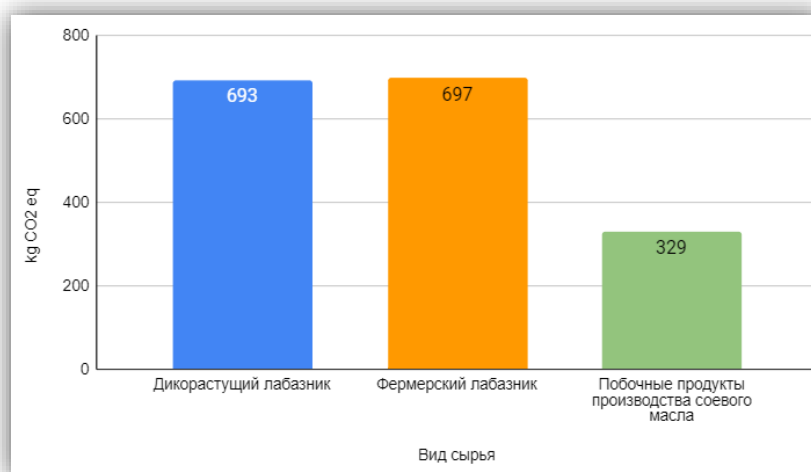


Рисунок 8 – Сравнительная оценка по категории «Потенциал глобального потепления» технологий производства биологически активных веществ в жизненном цикле по модели IPCC [16]
 Figure 8. Comparative evaluation by category “Global warming potential” of the production technologies for biologically active substances in the life cycle using IPCC model [16]

Результаты расчетов показали, что практически по всем категориям воздействия наименьшее влияние на окружающую среду оказывает производство БАВ на основе отходов производства соевого масла.

Внедрение результатов

Традиционные системы производства продуктов питания уступили место интенсивным методам удовлетворения растущих потребностей населения, а производство продуктов питания стало важным фактором истощения природных ресурсов, загрязнения и изменения климата [17]. Более того, термин «пищевые системы» в последнее время стал более распространенным, чем «пищевое производство», поскольку формирование и внедрение устойчивых пищевых технологий и процессов представляется неотъемлемой частью выбора технологий, оборудования и сырья, включая вторичные ресурсы при переработке отходов.

Общая концепция продовольственных систем была сформулирована Научной группой Саммита ООН по продовольственным системам в марте 2021 года. Продовольственные системы включают в себя широкий круг участников и их взаимосвязанную деятельность по созданию добавленной стоимости, которая включает процессы производства, переработки, распределения и потребления продуктов питания, а также утилизацию возникающих пищевых потерь и отходов. Система производства продуктов питания охватывает экономическую, социальную и природную среду, влияющую на сельское хозяйство, лесное хозяйство, рыболовство и переработку пищевых продуктов. В поиске решений и приоритетов действий концепцию устойчивой экономики замкнутого цикла следует рассматривать как всеобъемлющую системную основу, в которую встроены пищевые системы. Таким образом, устойчивая пищевая система – это система, обеспечивающая продовольственную безопасность и питание таким образом, чтобы сохранить экономические, социальные, культурные и экологические основы продовольственной безопасности и питания для будущих поколений. Применение концепции пищевой системы подразумевает определение структуры системы и структурных элементов системы, а также связей между ними. С другой стороны, рассматриваются связи с окружающими системами экономики, здравоохранения, окружающей среды, управления, науки и инноваций [18].

Сегодня широко анализируются экологические характеристики производства функциональных ингредиентов из пищевых побочных продуктов и переработанных пищевых продуктов [19, 20]. Например, в работе [21] представлен анализ проблемы производства и сертификации онкопротекторных функциональных пищевых ингредиентов на основе ликопина, полученного из отходов томатной кожуры. Авторами доказано, что использование отходов томатной кожуры весьма эффективно, поскольку рассматриваемая технология обеспечивает более высокий выход ценного ликопина, чем томатная мезга.

Интеграция методологии ОЖЦ в практику разработки технологий в части глубокой переработки пищевых отходов будет способствовать развитию устойчивого производства функциональных пищевых ингредиентов.

Результаты ОЖЦ предлагается использовать:

- в качестве критериев выбора наилучшей или наиболее перспективной технологии производства функциональных биологически активных веществ;
- в качестве контрольных количественных показателей воздействия на окружающую среду в течение их жизненного цикла для создания отечественной базы данных наилучших технологий производства БАВ.

Заключение

Результаты ОЖЦ показали, что побочные продукты производства соевого масла, из которых получают микрокапсулированные биологически активные вещества, являются более перспективным сырьем для функциональных пищевых смесей, чем БАВ на основе дикорастущего и фермерского лабазника вязолистного.

В исследовании выделены некоторые аспекты, необходимые к более подробному рассмотрению в дальнейшем изучении ОЖЦ функциональных пищевых ингредиентов, например, выбор упаковки, возможность ее повторного использования и переработки.

Восстановление больших количеств рентабельного соевого дистиллята может обеспечить

экономическую выгоду с точки зрения получения потенциально ценных компонентов, однако экономическое обоснование для заинтересованных сторон будет рассматриваться отдельно.

Для продвижения экологически безопасных функциональных ингредиентов и биологически активных веществ необходимо сформировать систематизированную базу данных результатов ОЖЦ для этих категорий продукции, содержащую информацию о технологии производства и экологических показателях по категориям воздействия жизненного цикла.

В качестве нового системного подхода для создания устойчивых пищевых систем предлагается интеграция оценки жизненного цикла в практику разработки перспективных технологий и выбора оборудования для пищевых производств, отвечающих принципам ресурсосбережения и экономики замкнутого цикла.

Литература/References

1. Zou T., Dawodu A., Mangi E., Cheshmehzangi A. General limitations of the current approach in developing sustainable food system frameworks. *Global Food Security*. 2022, V. 33, article 100624. DOI: 10.1016/j.gfs.2022.100624
2. Santiago B., Feijoo G., Moreira M.T., González-García S. Identifying the sustainability route of asparagus co-product extraction: From waste to bioactive compounds. *Food and Bioproducts Processing*. 2021, V. 129, pp. 176–189. DOI: 10.1016/j.fbp.2021.08.005
3. Sakr E.A.E., Massoud M.I., Ragae S. Food wastes as natural sources of lactic acid bacterial exopolysaccharides for the functional food industry: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021, V. 189, pp. 232–241. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.08.135
4. Granato D., Carocho M., Barros L., Zabetakis I., Mocan A., Tsoupras A., Cruz A.G., Pimentel T.C. Implementation of Sustainable Development Goals in the dairy sector: Perspectives on the use of agro-industrial side-streams to design functional foods. *Trends in Food Science & Technology*. 2022, V. 124, pp. 128–139. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.04.009
5. Read Q.D., Muth M.K. Cost-effectiveness of four food waste interventions: Is food waste reduction a "win-win"? *Resources, Conservation and Recycling*. 2021, V. 168, article 105448. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105448
6. Savinova T.S., Beletskaya I.P., Diep N.T., Huy L.D., Voishvillo N.E., Andryushina V.A., Karpova N.V. Extraction of a mixture of phytosterols from soybean processing by-product and its use in the manufacture of 9 α -hydroxyandrost-4-en-3,17-dione. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2012, V. 46, no. 3, pp. 183–186.
7. Луцкий В.И., Молокова Д.В. Фитостерины из отходов масложиркомбината // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2012. № 2. С. 42–45.
Lutskiy V.I., Molokova D.V. Phytosterols from fat-and oil industry waste. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya*. 2012, no. 2, pp. 42–45. (In Russian)
8. Baranenko D., Bepalov V.G., Nadtochii L., Shestopalova I., Chechetkina A., Lepeshkin A., Ilina V. Development of encapsulated extracts on the basis of meadowsweet (*Filipendula ulmaria*) in the composition of functional foods with oncoprotective properties. *Agronomy Research*. 2019, V. 17, no. 5, pp. 1829–1838. DOI: 10.15159/ar.19.155
9. Arumughan C., Sobankumar D.R., Sudaresan A., Nair S.S., Yohesh K., Rajam L. *Process for the preparation of high purity phytosterols*. Patent US7632530B2. Washington, 2009.
10. Bartocci P., Zampilli M., Liberti F., Pistolesi V., Massoli S., Bidini G., Fantozzi F. LCA analysis of food waste co-digestion. *Science of the Total Environment*. 2020, V. 709, article 136187. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.136187
11. Amicarelli V., Lagioia G., Bux C. Global warming potential of food waste through the life cycle assessment: An analytical review. *Environmental Impact Assessment Review*. 2021, V. 91, article 106677. DOI: 10.1016/j.eiar.2021.106677
12. Rossi M., Cappelletti F., Germani M. Design for environmental sustainability: collect and use company information to design green products. *Procedia CIRP*. 2022, V. 105, pp. 823–828. DOI: 10.1016/j.procir.2022.02.136
13. Goedkoop M., Oele M., Vieira M., Leijting J., Ponsioen T., Meijer E. *SimaPro Tutorial*. 2016, 89 p. URL: <https://pre-sustainability.com/legacy/download/SimaPro8Tutorial.pdf> (Accessed 30.09.2023).
14. Goedkoop M. *SimaPro database manual: methods library*. 2022, 56 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/284902588_SimaPro_database_manual_methods_library (Accessed 30.09.2023).
15. Huijbregts M.A.J., Steinmann Z.J.N., Elshout P.M.F., Stam G., Verones F., Vieira M.D.M., Hollander A., Zijp M., van Zelm R. *ReCiPe 2016 v1.1. A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report I: Characterization*. National Institute for Public Health and the Environment. The Netherlands. 2017, 201 p. URL: https://pre-sustainability.com/legacy/download/Report_ReCiPe_2017.pdf (accessed 30.09.2023).
16. Миниакметова А.В., Сергиенко О.И., Бараненко Д.А. Экологическая оценка жизненного цикла ингредиентов для пищевых функциональных смесей // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: сб. тр. СПб.: Изд-во Университета ИТМО, 2021. С. 468–470.
Miniakhmetova A.V., Sergienko O.I., Baranenko D.A. Environmental life cycle assessment of ingredients for functional

- food mixtures. *Nizkotemperaturnye i pishchevye tekhnologii v XXI veke*. Collection of works. St. Petersburg, ITMO University Publ. 2021, pp. 468–470. (In Russian)
17. Cucurachi S., Scherer L., Guinee J., Tukker A. Life cycle assessment of food systems. *One Earth*. 2019, V. 1, no. 3, pp. 292–295. DOI: 10.1016/j.oneear.2019.10.014
 18. von Braun J., Afsana K., Fresco L.O., Hassan M., Torero M. Food system concepts and definitions for science and political action. *Nature Food*. 2021, V. 2, pp. 748–750. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00361-2>
 19. Bartek L., Strid I., Henryson K., Junne S., Rasi S., Eriksson M. Life cycle assessment of fish oil substitute produced by microalgae using food waste. *Sustainable Production and Consumption*. 2021, V. 27, pp. 2002–2021. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.04.033>
 20. Hu X., Subramanian K., Wang H., Roelants S.L.K.W., Soetaert W., Kaur G., Lin C.S.K., Chopra S.S. Bioconversion of food waste to produce industrial-scale sophorolipid syrup and crystals: dynamic life cycle assessment (dLCA) of emerging biotechnologies. *Bioresource Technology*. 2021, V. 337, article 125474. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125474>
 21. Dipen P., Sanjay Akbari Ya., Bhatt H.G., Joshi D.C. Standardization of solvent extraction process for Lycopene extraction from tomato pomace. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*. 2017, V. 2, pp. 12–16. DOI: <https://doi.org/10.15406/jabb.2017.02.00019>

Информация об авторах

Айгуль Васимовна Минаихметова – аспирант факультета экотехнологий
Ольга Ивановна Сергиенко – канд. техн. наук, доцент факультета экотехнологий
Денис Александрович Бараненко – канд. техн. наук, доцент факультета биотехнологий
Виктория Сергеевна Ильина – инженер факультета экотехнологий
Артем Ильич Лепешкин – канд. техн. наук, инженер факультета экотехнологий
Эльмира Рамазановна Эминова – аспирант факультета биотехнологий

Information about the authors

Aigul V. Miniakhmetova, Postgraduate Student, Faculty of Ecotechnologies
Olga I. Sergienko, Ph.D. (Eng.), Associate Professor of the Faculty of Ecotechnologies
Denis A. Baranenko, Ph.D. (Eng.), Associate Professor of the Faculty of Biotechnologies
Victoria S. Ilina, engineer Faculty of Ecotechnologies
Artem I. Lepeshkin, Ph.D. (Eng.), engineer Faculty of Ecotechnologies
Elmira R. Eminova, Postgraduate Student, Faculty of Biotechnologies

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 10.11.2023
Одобрена после рецензирования 11.12.2023
Принята к публикации 14.12.2023

The article was submitted 10.11.2023
Approved after reviewing 11.12.2023
Accepted for publication 14.12.2023