

УДК 664.8

## ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ CO<sub>2</sub>-ЭКСТРАКТОВ ИЗ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ



## POSSIBILITIES OF OBTAINING AND APPLYING CO<sub>2</sub>-EXTRACTS FROM AGRICULTURAL RAW MATERIALS

**Касьянов Г.И.**

Кубанский государственный технологический университет

**Магомедов А.М.**

Кубанский государственный технологический университет

**Медведев А.М.**

Кубанский государственный технологический университет

**Фомин С.В.**

Кубанский государственный технологический университет

**Ахмад Тауфик Мохаммад**

Университет Тишрин, г. Латакия, Сирия

**Аннотация.** Использование сжиженного и сжатого диоксида углерода, как экстрагента ценных компонентов из растительного сырья, является актуальной технической задачей. В статье описаны особенности использования диоксида углерода в качестве экстрагента в докритическом состоянии при давлении от 5 до 7 МПа и температуре 15–25 °С. Благодаря низкой температуре экстракции и высокой скорости диффузии биологически активных компонентов сырья в растворитель, процесс докритической обработки растительного сырья признан наиболее технологичным по сравнению с традиционными способами извлечения ценных веществ из растительной матрицы – методами паровой отгонки, экстракции органическими растворителями, растительными маслами, глицерином и пропиленгликолем. Громадным преимуществом сжиженного диоксида углерода как растворителя, является возможность его полного удаления из мисцеллы и получение экологически чистого экстракта. Этот экстрагент селективен и не извлекает из сырья воска и смолы.

**Ключевые слова:** газожидкостная экстракция, диоксид углерода, CO<sub>2</sub>-экстракты, растительное сырье, рецептуры.

**Kasyanov G.I.**

Kuban State Technological University

**Magomedov A.M.**

Kuban State Technological University

**Medvedev A.M.**

Kuban State Technological University

**Fomin S.V.**

Kuban State Technological University

**Ahmad Tawfiq Mohammad**

University of Tishrin, the City Latakia, Syria

**Annotation.** The use of liquefied and compressed carbon dioxide as an extractant of valuable components from plant raw materials is an urgent technical task. The article describes the features of using carbon dioxide as an extractant in the subcritical state at a pressure of 5 to 7 MPa and a temperature of 15–25 °C. Due to the low extraction temperature and high diffusion rate of biologically active components of raw materials into the solvent, the process of subcritical processing of plant raw materials is recognized as the most technologically advanced compared to traditional methods of extracting valuable substances from the plant matrix – steam distillation, extraction with organic solvents, vegetable oils, glycerin and propylene glycol. A huge advantage of liquefied carbon dioxide as a solvent is the possibility of its complete removal from the miscella and obtaining an environmentally friendly extract. This extractant is selective and does not extract wax and resin from raw materials.

**Keywords:** gas-liquid extraction, carbon dioxide, CO<sub>2</sub> extracts, vegetable raw materials, formulations.

## **В**ведение

Анализ научно-технической и патентной информации показал экспоненциальный рост числа информационных источников, связанных с получением пищевых добавок экстракционными способами. В России наибольший опыт освоения технологии получения CO<sub>2</sub>-экстрактов имеют ученые и специалисты Краснодарской научно-педагогической школы по обработке сельскохозяйственного сырья сжиженными и сжатыми газами. История развития технологии и оборудования CO<sub>2</sub>-экстракции начинает-

ся с советских времен, когда в Краснодарском НИИ пищевой промышленности, под руководством Пехова А.В., была разработана технологическая схема и создана экспериментальная лабораторная и опытно-промышленная установки по обработке сырья жидким диоксидом углерода. Одновременно, на экспериментальном заводе КНИИПП были смонтированы установки и получены партии некоторых видов  $\text{CO}_2$ -экстрактов.

Промышленное производство таких экстрактов прекратилось в 1991 году, когда под лозунгом перестройки производители пищевых продуктов стали использовать для улучшения вкуса и аромата более дешевые синтетические ароматизаторы и олеорезины, негативно влияющие на здоровье человека. И только благодаря усилиям руководства ООО «Компания Караван» в Краснодаре было продолжено опытно-промышленное производство экстрактов, с использованием в качестве растворителя жидкого диоксида углерода.

Освоение техники и технологии газожидкостной экстракции непосредственно связано с конструированием новых аппаратов и систем замкнутого экстрагирования. Особый интерес представляет конструкция универсальных установок, позволяющих вести процесс извлечения ценных компонентов из сырья в суб- и сверхкритической области [1]. Для диоксида углерода критическими параметрами является давление 7,3 МПа и температура 31,1 °С.

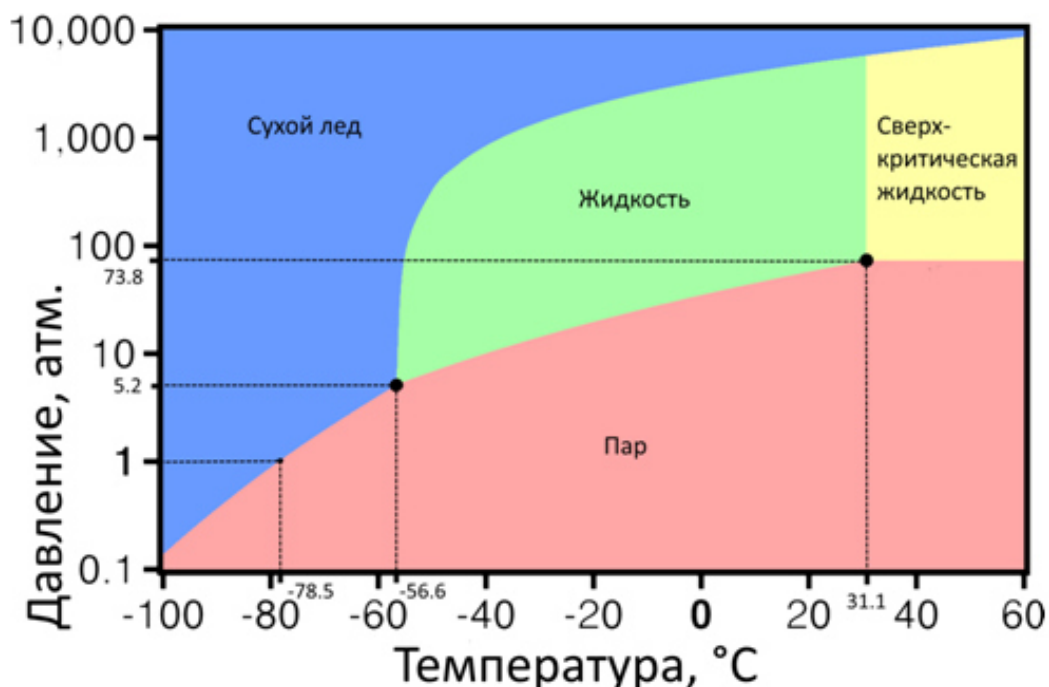


Рисунок 1 – Фазовая диаграмма диоксида углерода

Как видно из данных рисунка 1, физическое состояние диоксида углерода зависит от давления и температуры и он может находиться в твердом, жидком и сверхкритическом состоянии. Эту особенность  $\text{CO}_2$ , как растворителя, используют в экстракционных технологиях.

В роли экстрагента диоксид углерода может использоваться для извлечения и рафинации жирных масел [2]. Возможность проведения процесса экстракции в докритическом режиме, при плюсовых комнатных температурах, позволяет полностью сохранять в составе экстрактов биологически активные вещества [3]. На рисунке 2 приведена схема воплощения идеи  $\text{CO}_2$ -экстракции до внедрения.



Рисунок 2 – Схема воплощения идеи CO<sub>2</sub>-экстракции до внедрения

Совмещенный способ переработки масличного сырья, типа «прессование-экстрагирование», позволяет повысить выход масла [4]. Шрот, остающийся после выделения из сырья CO<sub>2</sub>-экстрактивных веществ, содержит достаточно много водорастворимых веществ и может быть использован для получения напитков [5]. К показателям безопасности CO<sub>2</sub>-экстрактов относится степень их растворимости в растительном масле и этиловом спирте, количество эфирных масел и нежировых примесей, показатели окисленности и микробиологическое состояние [6].

Краснодарская фирма ООО «НПП Плазма К», запатентовала оригинальные установки для получения CO<sub>2</sub>-экстрактов [7, 8]. Доказана эффективность получения и применения пищевых добавок в форме CO<sub>2</sub>-экстрактов, для обогащения разнообразных пищевых продуктов [9, 13, 17, 20].

Выполнен анализ оценки эффективности процесса газожидкостной экстракции с использованием правил системного анализа [10, 11]. Важным преимуществом комплексных CO<sub>2</sub>-экстрактов является высокая антиоксидантная активность, позволяющая продлить срок хранения обогащенных продуктов питания [12].

Исследования в области интенсификации процесса извлечения целевых компонентов из пряно-ароматического сырья, позволили повысить уровень возможностей экстракционных технологий [14–16].

В КубГТУ, на кафедре «Технология продуктов питания животного происхождения», выполняются исследования по использованию CO<sub>2</sub>-шротов зернового и орехового сырья для изготовления сухих завтраков [18]. Этот вид продукции в последние годы стал занимать значительный сегмент рынка.

В нашей стране и мировой практике продолжают ранее начатые исследования по теоретическому обоснованию кинетических зависимостей тепломассообменных процессов, происходящих в период суб- и сверхкритической экстракции [19, 21].

Цель исследований заключалась в обосновании рациональной технологии режимов CO<sub>2</sub>-экстракции в зависимости от видов обрабатываемого сырья и назначения полученных экстрактов для повышения пищевой и биологической ценности продуктов питания.

Достижение поставленной авторами цели оказалось возможным с помощью решения задач по оценке экстракционных свойств диоксида углерода в различных фазовых состояниях, выбора видов сырья для получения экстрактов целевого назначения, подбора экстракционного оборудования, исследования физико-химических свойств полученных экстрактов и обогащенных ими продуктов.

При выполнении исследований применялись методы математического планирования и системного анализа. Оценку качественного состава сырья, экстрактов и обо-

гащенных продуктов питания осуществляли методами газохроматографического анализа, тонкослойной хроматографии и спектрометрического анализа.

Теоретическое обоснование процесса массопереноса фенолсодержащих частиц растительного сырья в присутствии сжиженных и сжатых газов, дано с использованием уравнения Колмогорова.

Проанализируем термодинамические процессы, происходящие в CO<sub>2</sub>-экстракторе. Изменение концентрации экстрагируемого вещества в цилиндрическом экстракторе радиусом R можно описать уравнением Фурье-Кирхгофа

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \omega \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{D}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial C}{\partial r} \right), \quad (1)$$

где  $t$  – время;  $r, z$  – радиальная и продольная координаты;  $D$  – коэффициент радиальной (поперечной) диффузии;  $\omega$  – скорость течения в колонне.

В случае пульсирующего течения в колонне скорость течения наряду с постоянной составляющей будет иметь периодическую

$$\omega = \omega_0 (1 + A \cos \omega t) \quad (2)$$

В (2) форма импульса принята косинусоидальной. Вопрос о влиянии формы импульса на интенсивность процесса и о выборе оптимальной формы имеет особое значение.

При переходе в (1) к безразмерным координатам применяются преобразования

$$\begin{aligned} \tau = F_0 = \frac{t_v}{R^2 Pr_D} = \frac{Dt}{R^2}; \quad X = \frac{1}{Pe_D} \frac{z}{R}; \\ \rho = \frac{r}{R}; \quad Pe_D = \frac{2R\omega_0}{D}; \quad Sh = \frac{wA}{\omega_0} \end{aligned} \quad (3)$$

где  $t$  – температура,  $F_0 = \frac{a_0 \tau}{v^2}$  – число Фурье,  $v$  – плотность несущей среды.

В качестве граничных условий могут быть приняты в общем случае условия первого – третьего рода. Следует отметить условия, специфичные для данной задачи. К ним относится условие непроницаемости стенок аппарата

$$\left. \frac{\partial C}{\partial r} \right|_{r=R} = 0, \quad (4)$$

а также условие симметрии поля концентрации на оси аппарата

$$\left. \frac{\partial C}{\partial r} \right|_{r=0} = 0, \quad (5)$$

Можно также указать начальное условие

$$C(r, z, 0) = C_0 \quad (6)$$

и условие первого рода в начальном сечении на входе  $C(r, 0, \tau) = C_n$  или выходе  $C(r, l, \tau) = C_B$  (здесь  $l$  – длина экстрактора). В общем случае последнее условие можно записать в виде:

$$C(r, 0, \tau) = \varphi(\tau), \quad (7)$$

что представляет концентрацию вещества как функцию времени.

Выявлена связь между комплексами классических критериев и уравнением пульсирующей экстракции:

$$Nu_D = f(Pe_D, Re_n, Re_0, Sh, F_0, Pr_D), \quad (8)$$

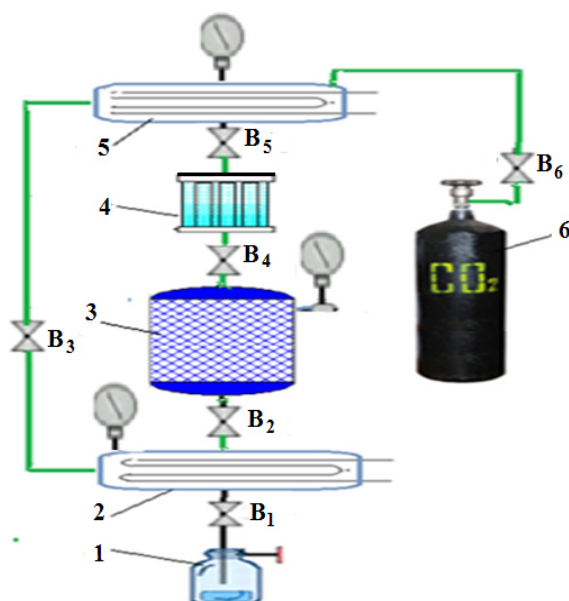
где  $Nu_D, Pe_D, Sh, F_0$  и  $Pr_D$  – соответственно критерии Нуссельта, Прандтля, Пекле,

Струхалея,  $Re_n$ ,  $Re_0$  и Фурье – критерии Рейнольдса, вычисленные по пульсационной и средней расходной скорости потока жидкости. Имея в виду, что  $Sh = Re_n / Re_0$ , один из критериев  $Re_n$ ,  $Re_0$  или  $Sh$  может быть исключён из (8).

Таким образом, при пульсационной экстракции веществ в системе «твёрдое тело-жидкость», возрастает  $D$  и интенсифицируется гидродинамическая возможность экстракционной колонны.

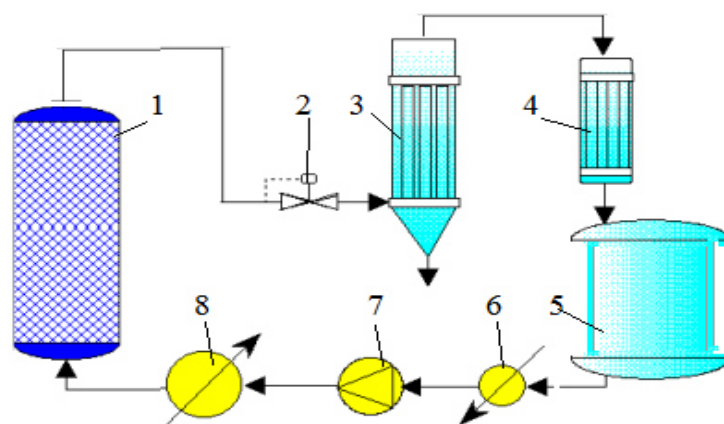
Процесс обработки сырья жидким диоксидом углерода организован при температуре от 10° до 30°С и давлении от 4499 кПа до 7211 кПа.

На рисунке 3 приведена традиционная схема установки для докритического экстрагирования компонентов из растительного сырья.



**Рисунок 3** – Принципиальная схема установки для субкритического экстрагирования:  
 1 – сборник экстракта, 2 – испаритель, 3 – экстрактор,  
 4 – емкость для жидкого растворителя,  
 5 – конденсатор, 6 – баллон с  $CO_2$ , B1 – B6-вентили

На рисунке 4 приведена принципиальная схема сверхкритического экстрагирования.



**Рисунок 4** – Принципиальная схема сверхкритического экстрагирования:  
 1 – СК  $CO_2$ -экстрактор, 2 – редуктор, 3 – епаратор;  
 4, 6, 8 – теплообменники, 5 – сборник растворителя,  
 7 – насос ВД

На рисунке 5 приведена структурная схема организации процесса CO<sub>2</sub>-экстракции.

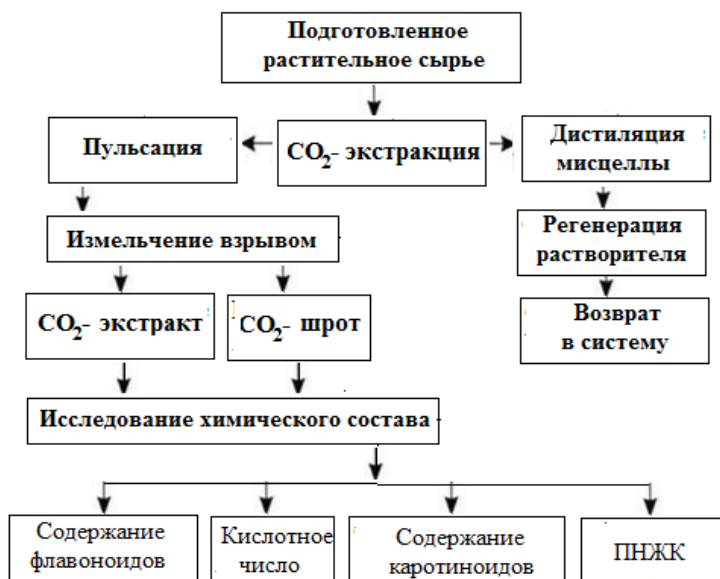


Рисунок 5 – Структурная схема организации процесса CO<sub>2</sub>-экстракции

На рисунке 6 приведена аппаратная схема получения экстрактов в субкритическом режиме.

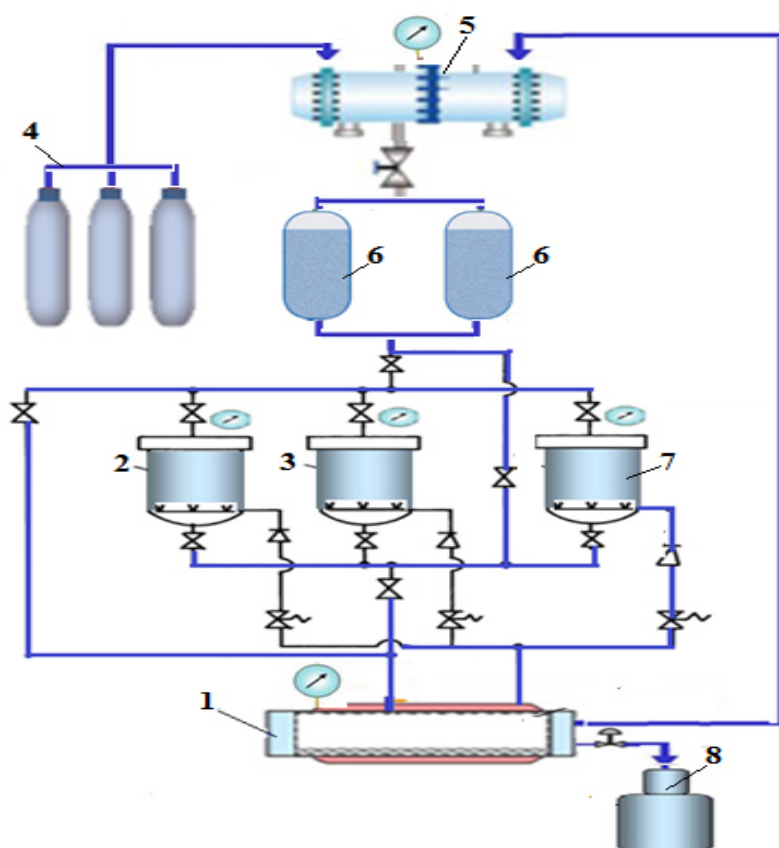


Рисунок 6 – Аппаратурная схема субкритической экстракционной установки:  
1 – испаритель; 2, 3 экстракторы, 4 – рампа с баллонами CO<sub>2</sub>,  
6 – емкости-накопители жидкого CO<sub>2</sub>,  
7 – пульсатор, 8 – сборник экстракт

Объектами исследований выбраны актинидия, облепиха, унаби и шиповник. В таблице 1 приведены технологические режимы CO<sub>2</sub>-экстракции.

**Таблица 1** – Технологические режимы CO<sub>2</sub>-экстракции

Показатели	Актинидия	Облепиха	Унаби	Шиповник
Продолжительность процесса экстракции, мин	90	110	90	120
Давление, кПа	5729	6004	5729	6004
Частота пульсаций, ед/мин	3	3	3	3
Время слива мисцеллы, мин	12	15	12	20
Температура шрота, °С	20	22	20	22
Выход экстракта, %	4	12	5	8
Потери CO <sub>2</sub> , кг/кг	0,2	0,5	0,2	0,5

Как видно из данных таблицы 1, выбранные для исследований плоды проходят сравнительно небольшой период экстракционной обработки от 90 до 120 мин., что удалось достичь благодаря предварительной сушке и экструзионной подготовке сырья, а также пульсационного режима экстракции. В таблице 2 приведена товароведная характеристика CO<sub>2</sub>-экстрактов актинидии, облепихи, унаби и шиповника.

**Таблица 2** – Товароведная характеристика CO<sub>2</sub>-экстрактов

Наименование CO <sub>2</sub> -экстрактов	Выход, %	Стоимость 1 кг/руб	Кислотное число, мг КОН/г	Массовая доля каротиноидов % x 10 <sup>-3</sup> :	Массовая доля флавоноидов % x 10 <sup>-3</sup> :
Актинидия	4	2300	8,4 ± 0,05	132	145
Облепиха	12	4200	19,2 ± 0,05	456	160
Унаби	5	2500	9,2 ± 0,05	110	153
Шиповник	8	3500	16,10 ± 0,05	425	180

В таблице 3 приведена информация о массовой доли жирных кислот в CO<sub>2</sub>-экстрактах, в % к сумме жирных кислот.

**Таблица 3** – Массовая доля жирных кислот в CO<sub>2</sub>-экстрактах

Жирная кислота	Актинидия	Облепиха	Унаби	Шиповник
Арахидиновая	0,19	0,13	0,13	0,18
Бегеновая	0,04	0,03	0,02	0,06
Лигноцеридовая	0,08	0,09	0,06	0,23
Линолевая	64,63	68,09	70,87	69,8
Линоленовая	0,52	0,43	0,41	0,45
Миристиновая	0,07	0,04	0,03	0,05
Олеиновая	20,67	19,8	17,46	18,1
Пальмитиновая	10,07	7,81	7,55	7,48
Пальмитолеиновая	0,20	0,19	0,12	0,07
Стеариновая	3,38	3,22	3,13	3,39
Эйкозеновая	0,14	0,17	0,22	0,18
Эруковая	0,01	–	0,01	

Как видно из данных таблицы 3, в СО<sub>2</sub>-экстрактах находится целый набор заменимых и незаменимых жирных кислот.

В таблице 4 приведена оценка антиоксидантных и антирадикальных свойств экстрактов из сухих плодов актинидии, облепихи, унаби и шиповника.

**Таблица 4** – Сравнительная оценка антиоксидантных и антирадикальных свойств экстрактов

СО <sub>2</sub> -экстракты	Фенолы, мг/100 г	Флавоно-иды, мг/100 г	β-каротин, мг/100 г	Антирадикальная активность, мг/мл	Антиоксидантная активность, % ингибирования
Актинидии	250,0 ± 4,3	82,0 ± 1,5	1,9 ± 0,05	95,0 ± 0,9	65,4 ± 1,3
Облепихи	390,0 ± 5,5	86,0 ± 1,5	4,3 ± 0,06	126,0 ± 0,4	72,6 ± 1,8
Унаби	225,0 ± 3,5	94,0 ± 1,6	1,1 ± 0,05	87,0 ± 0,5	52,4 ± 1,2
Шиповника	345,0 ± 5,5	81,0 ± 1,5	3,3 ± 0,06	113,0 ± 0,4	70,3 ± 1,8

Установлена высокая антиоксидантная и антирадикальная активность СО<sub>2</sub>-экстрактов. Благодаря высокому содержанию незаменимых ценных веществ СО<sub>2</sub>-экстракты являются природными антиоксидантами и рекомендуются для обогащения химического состава мясных и рыбных продуктов.

После удаления из сырья СО<sub>2</sub>-экстрактивных веществ, остаются СО<sub>2</sub>-шроты, представляющие собой углеводно-белково-липидную пищевую добавку.

В таблице 5 приведена товароведная характеристика СО<sub>2</sub>-шротов.

**Таблица 5** – Товароведная характеристика СО<sub>2</sub>-шротов

Показатели	Наименование шрота из сырья после удаления СО <sub>2</sub> -экстрактивных веществ			
	актинидия	облепиха	унаби	шиповник
Сырой протеин, г	5,1	4,5	7,1	7,2
Перевариваемый протеин, г	2,5	2,7	3,9	3,9
Сырой жир, г	4,8	10,6	5,6	4,2
Крахмал, г	1,2	1,4	1,3	1,7
Клетчатка, г	8,5	6,3	5,7	9,2
Минеральные в-ва, г	5,8	5,9	5,4	6,2
Макроэлементы				
Калий, г	1,09	0,98	1,37	1,14
Кальций, г	0,65	0,6	0,33	0,35
Натрий, г	0,02	0,02	0,07	0,06
Фосфор, г	0,84	0,9	0,84	0,77
Микроэлементы				
Кобальт, мкг	0,18	0,49	0,08	0,06
Марганец, мг	22,2	0,93	0,18	2,27
Медь, мкг	11,5	240	1,19	113
Селен, мкг	0,09	0,97	0,21	0,11
Цинк, мг	12,7	5,74	6,57	5,12
Железо, мг	0,04	1,4	0,48	1,3

Представляет интерес оценить экономические аспекты использования СО<sub>2</sub>-экстрактов для обогащения мясных продуктов. В таблице 6 приведены технологические и экономические данные использования СО<sub>2</sub>-экстрактов в колбасных изделиях.



**Таблица 6** – Технологические и экономические данные использования CO<sub>2</sub>-экстрактов в колбасных изделиях

Наименование CO <sub>2</sub> -экстрактов	Норма закладки г/100 кг фарша		Цена 1 кг CO <sub>2</sub> -экстракта	Затраты на ароматизацию 100 кг фарша, руб.
	Вареные колбасы, сосиски, сардельки	Полукопченые, ливерные колбасы, хлебцы		
Перца душистого	3–10	2–10	2300	4,6–23,0
Перца черного	2–4,5	2,5–5,0	7500	15,0–37,5
Перца красного	1,8–4,0	2,0–4,0	4800	8,6–19,2
Мускатного ореха	3,6–8,5	4,0–9,0	6800	24,5–61,2
Кориандра	1,2–2,5	1,4–2,5	2100	2,9–5,2
Гвоздики	3,4–10	4,0–10	2220	7,5–22,2
Актинидии	1–3	1,5–4	2050	2,0–8,2
Облепихи	1–3	1,2–4	4500	4,5–18,0
Унаби	1–2,5	1,2–3	2100	2,1–6,3
Шиповника	0,8–1,2	1–2	5350	4,3–10,7
Комплекс для вареных колбас	7–20	7–20	6200	24,5–61,2
Комплекс для копченых колбас	8–12	10–17	2900	23,2–49,3

Включение в рецептурный состав мясных изделий CO<sub>2</sub>-экстрактов позволяет улучшить их вкусовые характеристики, придать им антиоксидантные свойства и продлить сроки хранения. Купажу экстрактов лекарственных растений и пряностей, полученные по разрабатываемым режимам, позволяют с высокой точностью дозировать ароматизаторы для определенного вида продукции.

Таким образом, использование разработанных CO<sub>2</sub>-экстрактов технологически выгодно и оправдано с точки зрения получения натуральных высококачественных пищевых добавок. Потребность в CO<sub>2</sub>-экстрактах только мясной промышленности России оценивается в 25–30 тонн в год. Потенциальная емкость российского рынка CO<sub>2</sub>-экстрактов – более 200 млрд рублей. Учитывая возрастающую тенденцию населения к здоровому питанию, применение в пищевых продуктах нового вида пищевых ароматизаторов в форме CO<sub>2</sub>-экстрактов и CO<sub>2</sub>-шротов, позволяет существенно расширить ассортимент выпускаемой продукции.

### **Литература**

1. Алешкевич Ю.С., Савин В.Н., Мишкевич Э.Ю. Установки для до - и сверхкритической CO<sub>2</sub>-экстракции ценных компонентов из животного и растительного сырья // В сборнике: Высшая школа: научные исследования. Материалы Межвузовского научного конгресса. – М., 2020. – С. 120–124.
2. Атоев Э.Х., Гафурова Г.А. Рафинирование и экстракция семян тыквы сверхкритической углекислотой // *Universum: технические науки*. – 2020. – № 5-2 (74). – С. 26–28.
3. Белокуров С.С., Флисюк Е.В. Получение CO<sub>2</sub>-экстрактов пажитника сенного с высоким содержанием БАВ // В сборнике: Инновации в здоровье нации. Сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет. – 2018. – С. 26–28.
4. Развитие инновационной технологии получения растительного масла прессованием с использованием двуокси углерода / А.В. Гукасян [и др.] // В сборнике: Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство. Материалы VI Международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 580–586.
5. Евтых А.З., Неровных Л.П., Агеева Н.М. Использование CO<sub>2</sub>-шротов растительного сырья в технологии производства ароматизированных винных напитков // *Известия вузов. Пищевая технология*. – 2015. – № 4 (346). – С. 53–57.
6. Ерофеева Е.Г., Тарасов В.Е., Лосева Н.В. Требования безопасности CO<sub>2</sub>-экстрактов // В сборнике: Технологические особенности производства и применения CO<sub>2</sub>-экстрактов из растительного сырья. Сборник материалов международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 64–69.

7. Занин Д.Е., Касьянов Д.Г., Метельская Е.А. Установка для экстракции растительного сырья. Патент на изобретение RU № 2701856, Заявка № 2019100143, заявлено 09.01.2019, опубликовано 01.10.2019.
8. Занин Д.Е., Касьянов Д.Г., Метельская Е.А. Экстрактор для извлечения биологически активных компонентов из растительного сырья. Патент на полезную модель RU № 160667, Заявка № 2015135817/05, заявлено 24.08.2015, опубликовано 27.03.2016.
9. Способ производства консервов «Пикша обжаренная в томатном соусе» / Е.Е. Иванова [и др.] // Патент на изобретение RU 2518391, 10.06.2014. Заявка № 2012157156/13 от 27.12.2012.
10. Эффективность процесса CO<sub>2</sub>-экстракции с позиций системного и экономического анализа / Е.В. Иночкина [и др.] // В сборнике: Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения. Материалы международной научно-практической конференции. – Краснодар, 2020. – С. 94–99.
11. Иночкина Е.В., Касьянов Г.И. Принципы обезвоживания плодоовощного сырья с позиций системного анализа. – Краснодар : КубГТУ, 2020. – 127 с.
12. Каминир О.Н., Касьянов Г.И., Косенко О.В. Исследование антиоксидантных свойств комплексного CO<sub>2</sub>-экстракта методом математического планирования эксперимента // В сборнике: Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения. Материалы международной научно-практической конференции. – Краснодар, 2020. – С. 265–270.
13. Касьянов Г.И., Золотокопова С.В., Магомедов А.М. Особенности технологии фаршированного рыборастворительного продукта, обогащенного CO<sub>2</sub>-экстрактами // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2019. – № 2. – С. 86–93.
14. Касьянов Г.И. Обоснование выбора высоких экстракционных технологий // В сборнике: Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения. Материалы международной научно-практической конференции. – Краснодар, 2020. – С. 12–15.
15. Технологические свойства диоксида углерода / О.В. Косенко [и др.] // В сборнике: технологические особенности производства и применения CO<sub>2</sub>-экстрактов из растительного сырья. Сборник материалов международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 130–132.
16. Малашенко Н.Л. Совершенствование технологий получения поликомпонентных пряно-ароматических пищевых добавок // Автореф. дис. к.т.н. – Краснодар : КубГТУ, 2015. – 24 с.
17. Малашенко Н.Л., Силюнская С.М., Панина О.Р. Получение пищевой добавки шафрана способом субкритической CO<sub>2</sub>-экстракции // В сборнике: Инновационные технологии переработки сырья животного происхождения. Международная научно-практическая конференция. – 2015. – С. 103–106.
18. Медведев А.М., Касьянов Г.И., Бахмет М.П. Технология сухих завтраков на орехово-зерновой основе. – Краснодар : Издательский Дом-Юг, 2020. – 158 с.
19. Кинетика массообменных процессов в CO<sub>2</sub>-экстракционной установке / Г.А. Сагайдак [и др.] // В сборнике: Суб- и сверхкритические флюидные технологии в пищевой промышленности. Сборник материалов Международной научно-технической Интернет-конференции. – 2012. – С. 161–165.
20. Сязин И.Е., Ткаченко Ю.И., Потапов В.А. Особенности применения CO<sub>2</sub>-экстрактов в технологии производства пищевой продукции // В сборнике: Актуальные проблемы современной науки. Материалы V Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов. – 2017. – С. 112–114.
21. Сверхкритический CO<sub>2</sub> – извлечение наннохлоропсиса Sp.: Липидомическое исследование влияния предварительной обработки на урожайность и состав молекул / Кэти Элст [и др.]. – 2018. – № 23 (8). – 1854 с. – URL : <https://doi.org/10.3390/molecules23081854>.

## References

1. Aleshkevich Y.S., Savin V.N., Mishkevich E.Yu. Installations for up - and supercritical CO<sub>2</sub>-extraction of valuable components from animal and vegetable raw materials // In the collection: Higher School: Research. Proceedings of the Interuniversity Scientific Congress. – M., 2020. – P. 120–124.
2. Atoev E.H., Gafurova G.A. Refining and extraction of pumpkin seeds by supercritical carbon dioxide // Universum: Technical Sciences. – 2020. – № 5-2 (74). – P. 26–28.
3. Belokurov S.S., Flisyuk E.V. Obtaining CO<sub>2</sub>-extracts of fenugreek with high content of BAS // In the collection: Innovations in the health of the nation. Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. – St. Petersburg State Chemical-Pharmaceutical University. – 2018. – P. 26–28.

4. Development of innovative technology of obtaining vegetable oil by pressing using carbon dioxide / A.V. Gukasyan [et al.] // In the collection: Innovative technologies in the food industry: science, education and production. Proceedings of the VI International Scientific and Technical Conference. – 2019. – P. 580–586.
5. Evtykh A.Z., Nerovnykh L.P., Ageeva N.M. The use of CO<sub>2</sub>-derived vegetable raw materials in the technology of production of flavored wine drinks // *Izvestiya vuzov. Food technology*. – 2015. – № 4 (346). – P. 53–57.
6. Erofeeva E.G., Tarasov V.E., Loseva N.V. Safety requirements CO<sub>2</sub>-extracts // In the collection: Technological features of the production and use of CO<sub>2</sub>-extracts from plant raw materials. Collection of materials of the international scientific-practical conference. – 2018. – P. 64–69.
7. Zanin D.E., Kasyanov D.G., Metelskaya E.A. Installation for extraction of plant raw materials. Patent for invention RU № 2701856, Application № 2019100143, filed 09.01.2019, published 01.10.2019.
8. Zanin D.E., Kasyanov D.G., Metelskaya E.A. Extractor for the extraction of biologically active components from plant raw materials. Useful model patent RU № 160667, Application № 2015135817/05, applied for 24.08.2015, published 27.03.2016.
9. Method of production of canned «Piksha fried in tomato sauce» / E.E. Ivanova [et al.] // Patent for invention RU 2518391, 10.06.2014. Application № 2012157156/13 from 27.12.2012.
10. Efficiency of CO<sub>2</sub>-extraction process from the standpoint of system and economic analysis / E.V. Inochkina [et al.] // In the collection: Biotechnological, environmental and economic aspects of safe food specialized purpose. Mat. of international scientific-practical conference. – Krasnodar, 2020. – P. 94–99.
11. Inochkina E.V., Kasyanov G.I. Principles of dehydration of fruit and vegetable raw materials from the position of system analysis. – Krasnodar : KubGTU, 2020. – 127 p.
12. Kaminir O.N., Kasyanov G.I., Kosenko O.V. Research of antioxidant properties of complex CO<sub>2</sub>-extract by mathematical planning of experiment // In the collection: Biotechnological, ecological and economic aspects of safe food specialties. Materials of the International Scientific-Practical Conference. – Krasnodar, 2020. – P. 265–270.
13. Kasyanov G.I., Zolotokopova S.V., Magomedov A.M. Features of the technology of the stuffed fish and fish products enriched with CO<sub>2</sub>-extracts // *Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fish economy*. – 2019. – № 2. – P. 86–93.
14. Kasyanov G.I. Rationale for the choice of high extraction technology // In the collection: Biotechnological, environmental and economic aspects of safe food specialized purpose. Materials of the International Scientific and Practical Conference. – Krasnodar, 2020. – P. 12–15.
15. Technological properties of carbon dioxide / O.V. Kosenko [et al.] // In the collection: technological features of the production and application of CO<sub>2</sub>-extracts from vegetable raw materials. Collection of materials of the international scientific-practical conference. – 2018. – P. 130–132.
16. Malashenko N.L. Improvement of technologies of obtaining polycomposite spicy and aromatic food additives // Ph.D. in technical sciences. – Krasnodar : KubGTU, 2015. – 24 p.
17. Malashenko N.L., Silinskaya S.M., Panina O.R. Obtaining food additive saffron by subcritical CO<sub>2</sub>-extraction // In the collection: Innovative technologies of processing raw materials of animal origin. International scientific-practical conference. – 2015. – P. 103–106.
18. Medvedev A.M., Kasyanov G.I., Bakhmet M.P. Technology of dry breakfasts on nut-grain basis. – Krasnodar : Publishing House – South, 2020. – 158 p.
19. Kinetics of mass exchange processes in CO<sub>2</sub>-extraction unit / G.A. Sagaidak [et al.] // In the collection: Sub- and supercritical fluid technology in the food industry. Proceedings of the International Scientific and Technical Internet-Conference. – 2012. – P. 161–165.
20. Syazin I.E., Tkachenko Y.I., Potapov V.A. Features of the use of CO<sub>2</sub>-extracts in the technology of food production // In the collection: Actual problems of modern science. Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference of young scientists, graduate students, undergraduates and students. – 2017. – P. 112–114.
21. Supercritical CO<sub>2</sub> – extraction of nannochloropsis sp.: A Lipidomic Study on the Influence of Pre-treatment on Yield and Composition Molecules / Kathy Elst [et al.]. – 2018. – № 23 (8). – 1854 p. – URL : <https://doi.org/10.3390/molecules23081854>.