

УДК 615.322

ГАРМОНОВ Д. А., магистрант (ТвГТУ)
СОКОЛОВА А. В., аспирант (ТвГТУ)

Научный руководитель: к.х.н., доцент Е. В. Ожимкова (ТвГТУ)
г. Тверь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ФЛЮИДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ВОДОРОСЛЕЙ

Бурые морские водоросли являются широко известным источником биологически активных веществ. Химический состав представителей *Phaeophyceae* представлен следующими группами соединений: углеводами, полифенолами, минеральными веществами, азотсодержащими веществами, липидами, пигментами и витаминами [1]. Одним из подходов к переработке бурых макроводорослей с целью получения полезных для населения продуктов является экстракция, которая заключается в обработке растительной биомассы различными растворителями с последующим отделением экстракта от шрота. Получаемые целевые продукты весьма разнообразны, а их свойства и области применения зависят в основном от физико-химических свойств используемых для экстракции растворителей и условий проведения процесса [2].

Одним из быстроразвивающихся направлений в технологии экстракции как способа получения биологически активных веществ из растительного сырья является сверхкритическая флюидная экстракция (СКФЭ) с применением в качестве растворителя углекислого газа в сверхкритическом состоянии. Преимуществом данной технологии в сравнении с «традиционными» методами экстракции (основанными на использовании таких органических соединений, как метанол, этанол, хлороформ, ацетон и гексан) является экологичность и возможность получения экстракта без следов растворителя [3]. При этом сверхкритический углекислый газ является неполярным соединением, что делает его эффективным инструментом для извлечения из биомассы бурых морских водорослей таких соединений, как липиды и пигменты [4]. Фазовая диаграмма углекислого газа представлена на рисунке 1. Принципиальная схема процесса сверхкритической флюидной экстракции представлена на рисунке 2.

Глубина переработки бурых морских водорослей с помощью сверхкритической флюидной экстракции с диоксидом углерода в качестве флюида зависит от температуры, давления, продолжительности процесса и размера используемых для экстракции частиц. Также могут быть применены различные сорасторовители для увеличения выхода целевых биологически активных веществ.

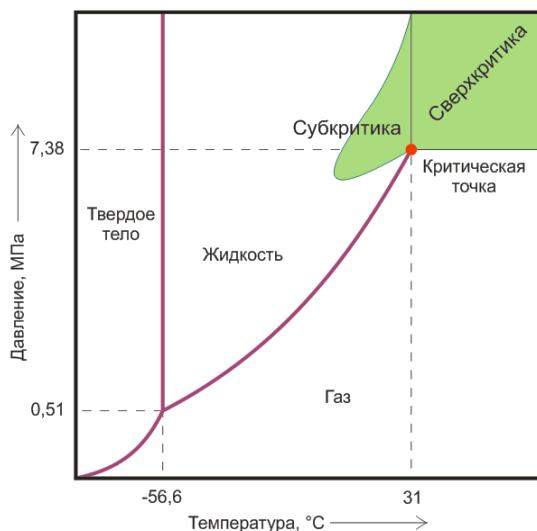


Рисунок 1. Фазовая диаграмма углекислого газа

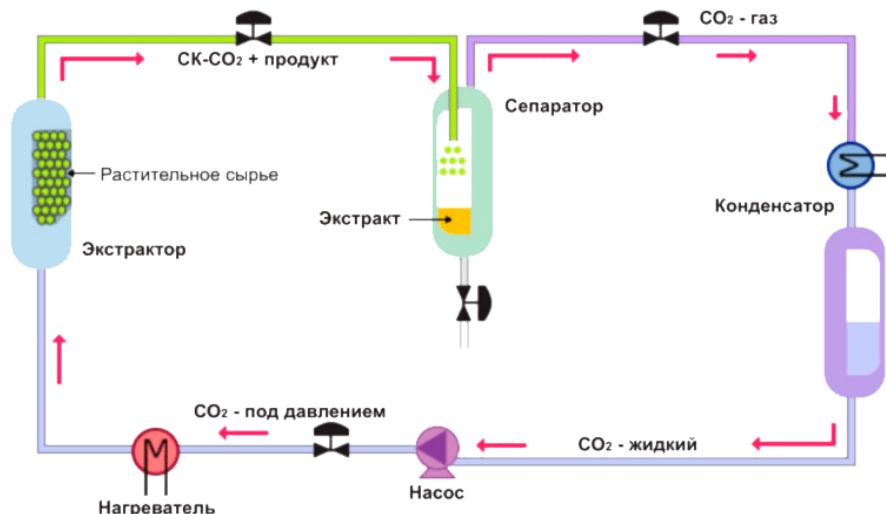


Рисунок 2. Принципиальная схема процесса СКФЭ

Так, модификация сверхкритического диоксида углерода этианолом позволяет существенно снизить продолжительность процесса, а также повысить выход целевых продуктов. Однако существенным недостатком такого подхода является применение в «зеленой» технологии токсичных органических растворителей, что существенно снижает потенциал рассматриваемого процесса. Сравнительная характеристика сверхкритических экстрактов, полученных различными группами ученых, представлена в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительная характеристика сверхкритических экстрактов бурых морских водорослей

Вид буровой морской водоросли	Параметры процесса			Получаемые БАВ	Источник
	P, бар	T, °C	τ, мин		

<i>Laminaria digitata</i>	296,077	80	90	Хлорофиллы и каротиноиды	[4]
<i>Undaria pinnatifida</i>	400	48	238	Флавоноиды и каротиноиды	[5]
<i>Undaria pinnatifida</i>	400	40	180	Фукоксанチン	[6]

Последние исследования в области применения сверхкритических технологий для получения биологически активных веществ бурых морских водорослей существенно расширили представления о перспективе данного направления. Благодаря применению передовых аналитических методов для качественного и количественного анализа полученных экстрактов появилась возможность оценить перспективу применения данных композиций в пищевой, косметической и фармацевтической отраслях промышленности. На данный момент, однако, отмечается существенная нехватка исследований, связывающих сезон и условия добычи бурых морских водорослей с качественными и количественными характеристиками полученных экстрактов. Также стоит отметить и необходимость исследования процесса сверхкритической флюидной экстракции на других модельных бурых морских водорослях, что позволит существенно расширить понимание перспектив данного процесса. Помимо этого, существует необходимость в проведении научно-исследовательских работ по изучению комбинированных методов экстракции, например, ультразвуковой экстракции с последующим применением сверхкритических технологий.

Список использованных источников

1. Подкорытова, А.В. Морские бурые водоросли – перспективный источник БАВ для медицинского, фармацевтического и пищевого применения / А.В. Подкорытова, А.Н. Роцина // Труды ВНИРО. – 2021. – Т. 186. – № 4. – С. 156-172.
2. Сёмушкин, Д.Н. Классификация процессов экстракции биологически активных веществ из растительного сырья / Д.Н. Сёмушкин, Б.Г. Зиганшин, Сёмушкин Н.И., Алатырев С.С., Максимов И.И. // Вестник Казанского ГАУ. – 2023. – Т. 18. - № 2. – С. 108-116.
3. Меньшутина, Н.В. Применение сверхкритической экстракции для выделения химических соединений / Меньшутина Н.В., Казеев И.В., Артемьев А.И., Бочарова О.А., Худеев И.И. // Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология». – 2021. – Т. 64. – № 6. – С. 4-19.
4. Ивахнов, А.Д. Сверхкритическая флюидная экстракция хлорофиллов и каротиноидов *Laminaria digitata* / Ивахнов А.Д., Скребец Т.Э., Боголицын К.Г. // Химия растительного сырья. – 2014. - № 4. – С. 177-182.
5. Optimization of fucoxanthin extraction obtained from natural by-products from *Undaria pinnatifida* stem using supercritical CO₂ extraction method / Shipeng Yin, Liqiong Niu, Mario Shibata, Yuanfa Liu, Tomoaki Hagiwara // Frontiers in Nutrition. – 2022. – № 9.

6. Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Fucoxanthin from *Undaria pinnatifida* / Armando T. Quitain, Takahisa Kai, Mitsuru Sasaki, Monotobu Goto // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2013. - № 61. – С. 5792-5797.