

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 66.021.3.086:[66.061.3-035.2:615.451.1]

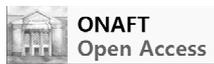
МАССОПЕРЕНОС ПРИ ЭКСТРАГИРОВАНИИ ИЗ ЛЕЧЕБНОГО
РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ
MASS-TRANSFER IN EXTRACTION FROM MEDICAL VEGETABLE
MATERIAL IN ELECTROMAGNETIC FIELD

Бурдо О.Г., д-р техн. наук, профессор, Бурдо А.К., канд. техн. наук, доцент,
Альхури Юсеф, аспирант, Сиротюк И.В., магистрант
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса
Burdo O.G., Burdo O.K., Alhuri Yu., Syrotyuk I.
Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine

Copyright © 2016 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



В работе представлен критический анализ технологий экстрагирования из лекарственного растительного сырья. Показано, что в различных отраслях техники предпочтение отдается микроволновым способам подвода энергии. Приведены результаты комплексных экспериментальных исследований процессов экстрагирования из клюквы, калины, черноплодной рябины и шиповника. Опыты проводились на 3 стендах – в термостате, в микроволновом экстракторе в неподвижном слое и в микроволновом экстракторе при циркуляции экстрагента. Методика предусматривала определение концентрации экстракта, температуры плодов и потока, давления в реакционном объеме, потребляемой мощности во времени. Проведено сравнение кинетических зависимостей насыщения экстракта целевыми компонентами по традиционной технологии и в микроволновом экстракторе. Установлено влияние вида энергии, температуры, вида сырья, гидромодуля и расхода экстрагента на интенсивность массопереноса. Результаты опытов приведены в виде зависимостей во времени концентрации экстракта от мощности микроволнового поля, температуры, гидромодуля, размера плода и расхода потока. Эффективность экстрагирования оценивалась с помощью спектральных зависимостей. Обоснованы выводы и рекомендации по организации процесса экстрагирования из лекарственного растительного сырья в микроволновом поле.

Critical analysis of medicinal plant raw material extraction technology is presented. It is shown, that in different technology sectors favour microvare method of energy supply. Results of complex experimental researchings of cranberry, guelder rose, chokeberry and rose hip extraction processes are given. The tests were organised on three stands – on the thermostat, microve extractor with fixed layer and microvave extractor with extagent circulation. The methodics includes the definition of extract concentration, temperatures of fruits and flow, pressure in the recreational volume, power consumption in time. The kinetic dependences of extract saturation with target components on traditional technologies and at the microvare extractor were compared. The impact of energy type, temperature, raw material type, hydromodule and extragent consumption on mass transfer intensity is indentified. The results are submitted in the form of dependences in time between extract concentration and microwave field capacity, temperature, hydromodule, fruit size and flow consumption. The extraction effectiveness was measured through the spectral dependences. The conclusions and recommendations on organisation of process of medicinal plant raw material extraction in the microwave field are justified.

Ключевые слова: Лекарственное растительное сырье, экстрагирование, микроволновой экстрактор, экспериментальное моделирование.

Key words: medicinal plant raw material, extraction, microvave extractor, experimental simulation.

Введение. Современная эпоха характеризуется бурным развитием инновационных технологий в отрасли пищевой и перерабатывающей промышленности, в том числе био- и нанотехнологии, позволяющих значительно расширить выработку продуктов нового поколения с заданными качественными характеристиками, лечебно-профилактических, геронтологических и других специализированных продуктов. Разработка технологий и оборудования для производства функциональных продуктов является важным и актуальным направлением научных исследований. В рамках стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Украины на

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

период до 2020 года поставлена цель, заключающаяся в обеспечении гарантированного и устойчивого снабжения населения страны безопасным и качественным продовольствием.

Наблюдается устойчивая тенденция роста интереса и к препаратам из лекарственного растительного сырья (ЛРС) [1]. Возможность длительного безопасного применения препаратов растительного происхождения благодаря мягкому терапевтическому действию, минимизации противопоказаний наряду с высокой эффективностью, оправдывает их широкое использование при лечении различных заболеваний. Однако, несмотря на неоспоримые преимущества, спрос на отечественные фитопрепараты превышает их наличие, что объясняет актуальность разработки новых препаратов на основе ЛРС.

Сама идея фитотерапии широко поддерживается Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ). По мнению ее экспертов, в лечении примерно 75% больных целесообразно применять препараты растительного происхождения; задачей медицинской науки в этом случае становится органичная интеграция фитотерапии в систему здравоохранения. ВОЗ издаются специальные монографии о лекарственных растениях, содержащие экспериментальную и клиническую доказательную базу по каждому из включенных наиболее широко используемых 235 растений. Монографии о лекарственных растениях издаются также Европейским научным объединением по фитотерапии (European Scientific Cooperative On Phytotherapy). В составе Европейского медицинского агентства по лекарственным средствам (European Medicines Agency) функционирует Комитет по лекарственной продукции растительного происхождения, основным объектом деятельности которого является изучение применения лекарственных растений в практической медицине. Кроме того, ВОЗ разработаны соответствующие нормативные документы, поддерживающие концепцию GMP (Good Medical Practice) и оговаривающие необходимые требования к надлежащей практике культивирования и сбора лекарственных растений (Good Agricultural and Collection Practices — GACP) (World Health Organization, 2003) [2].

В работе представлены результаты комплексных исследований технологий экстрагирования из наиболее распространенного сырья: шиповника и черноплодной рябины [3]. Приведены

Анализ литературных источников и формулировка проблемы. Теоретические основы процесса экстрагирования изложены в многочисленных работах, например в [4 - 9]. Эффективность экстрагирования в значительной степени зависит от способа подготовки сырья к этому процессу, поскольку клеточная проницаемость сырья существенно определяется формой и размером дисперсного состава частиц.

Механические методы интенсификации на стадии подготовки сырья необходимы для увеличения поверхности контакта фаз, что достигается за счет уменьшения размера частиц. Однако гидродинамические условия фильтрования экстрагента через слой частиц по мере уменьшения их размера значительно ухудшаются. Это значит, что для каждого вида сырья и условий протекания процесса экстрагирования существует определенный рациональный размер частиц, при котором суммарное внутреннее и внешнее диффузионное сопротивление является минимальным.

На стадии подготовки сырья к экстрагированию термические методы также направлены на уменьшение внутреннего диффузионного сопротивления. Они снижают устойчивость цитоплазматических мембран, приводят к разрыву клеток сырья, экстрагент более свободно проникает в клетку и увеличивается контакт сырья с растворителем [10]. Действие тепловой обработки основано на коагулирующем и обезвоживающем воздействии на белковые вещества, что вызывает гибель растительной клетки. Нагревание повышает выход сока, инактивирует внутриклеточные окислительные ферменты, уменьшает микробную обсемененность, разрушает восковую оболочку, частично денатурирует белки оболочки сырья и увеличивает проницаемость ткани [11]. Термические методы интенсификации на стадии проведения процесса направлены на увеличение коэффициента диффузии экстрагируемого вещества. Однако воздействие высоких температур может привести к ухудшению качества получаемого экстракта либо изменению физических свойств частиц. Так, например, под действием высоких температур могут изменяться упругие свойства сырья, что может привести к ухудшению условий массообмена и соответствующему увеличению внешнего диффузионного сопротивления, вследствие чего суммарное диффузионное сопротивление окажется не меньшим, а большим. Поэтому термические методы на данной стадии нельзя считать существенным средством интенсификации процесса [10, 11].

Использование микроволновых технологий (МВТ) позволило интенсифицировать процесс тепловой обработки сырья и экстрагирование устойчивых растворимых веществ водной средой. Положительные результаты использования электромагнитного импульсного излучения были получены: при производстве пищевых красителей из свеклы [12], плодово-ягодного сырья [13], в схеме ускоренного дозревания коньячных спиртов [17], при извлечении кедрового масла из семян сосны сибирской [15], в лабораторных условиях для ускорения извлечения фунгицидов из древесных материалов [16], при получении соевого масла [17], при извлечении масел из листьев мяты, розмарина, чайного дерева, сандала и других растений [15], при экстрагировании никотина из табачного сырья [19].

Совершенствования в технологии экстрагирования происходит на трех основных стадиях: стадия подготовки сырья; стадия экстрагирования; стадия дальнейшей обработки раствора. На первой стадии для повыше-

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ния выхода растворимых веществ используют процессы с эффектом взрывного набухания, что способствует увеличению удельной поверхности и созданию развитой пористости [20]. Применяют обработку ферментными препаратами (ксилоглоуконофетидин) [21], увлажняют зерна с последующим его набуханием [22], его измельчение, введение благородных газов для повышения ароматики [23].

На второй стадии основной упор делается на интенсификацию массопереноса. Чаще всего этого добиваются, изменяя гидродинамические условия за счет перемешивания экстрагируемой массы [24], используя действие центробежных сил в центрифугах [25], УЗ-волны, воздействие высоковольтных импульсных разрядов. Кроме того, повышают давление внутри аппарата (0,3 МПа...1,2 МПа), увеличивают длительность взаимодействия фаз (24...48 часов), используют обогащающий раствор растворимого компонента [26].

На последней заключительной стадии главной задачей является сохранение всех свойств готового продукта. Для этого распылительную сушку заменяют сублимационной, снижающую потери ценных веществ. При этом может проводиться, например, вспенивание [27], низкотемпературная технология распылительной сушки (при 140 °С), которая позволяет в значительной мере сохранить аромат [28, 29].

По результатам проведенного выше обзора литературных и патентных источников можно сделать следующие выводы.

1. Примеры интенсификации электрофизическими методами процессов переноса при экстрагировании и мировой опыт применения МВТ в пищевых технологиях определяют целесообразность исследований в данном направлении и при производстве ЛРС.

2. Сравнительный анализ показывает перспективность нового при производстве ЛРС направления: интенсификация массопереноса при использовании микроволновых технологий на стадии экстрагирования.

3. На сегодняшний день экстракционные аппараты комбинированного действия и методы их расчета отсутствуют. Примеров практического использования МВТ в технологиях получения экстрактов из ЛРС в литературе не обнаружено. Однако, данные, приведенные выше, свидетельствуют об активной работе над созданием экстракторов, использующих МВТ.

Для традиционных технологий производства экстрактов из ЛРС характерны серьезные научно-технические противоречия. С одной стороны для сохранения целебных качеств препаратов, которые в большинстве случаев являются термолабильными, ограничиваются уровни термического воздействия в процессе массопереноса. А это приводит к тому, что экстрагирование продолжается неделями. Решение этих противоречий лежит в плоскости применения инновационных электрофизических технологий адресной доставки энергии [30 - 33] к отдельным элементам ЛРС. Предварительные работы авторов в этом направлении [34] подтверждают перспективность заявленного направления.

Экспериментальные стенды и методика исследований. Во всех опытах поддерживался следующий порядок выполнения исследований.

На первом этапе проводилась подготовка образцов и стенда, которая включала следующие операции: измерение массы плодов (Мп) и экстрагента (Мв); устанавливалась мощность магнетрона (Nm). В процессе опытов с помощью пирометра и термопар измерялись температуры плодов в реакционном объеме и экстракта на входе и выходе из камеры. Расход экстрагента (V) определялся весовым методом, а оптическая плотность экстракта (D) с помощью фотокалориметра Spekol. Выборочно определялась концентрации экстракта классическим методом высушивания до постоянного веса. Концентрация экстракта (Xэ) определялась по тарировочной зависимости Xэ = f(D).

Методика обработки результатов наблюдений включала:

расчет массы перешедших в раствор веществ и концентрации целевых компонентов в плодах

$$m = XэVэрэ \quad C_i = C_n - Xэ/\Gamma, \quad \Gamma = Mп/Mв \quad (1)$$

расчет коэффициента массоотдачи:

$$\beta = Vэ Xэ (X_n - Xэ) / F, \quad F = nf \quad (2)$$

расчет скорости потока и числа Рейнольдса:

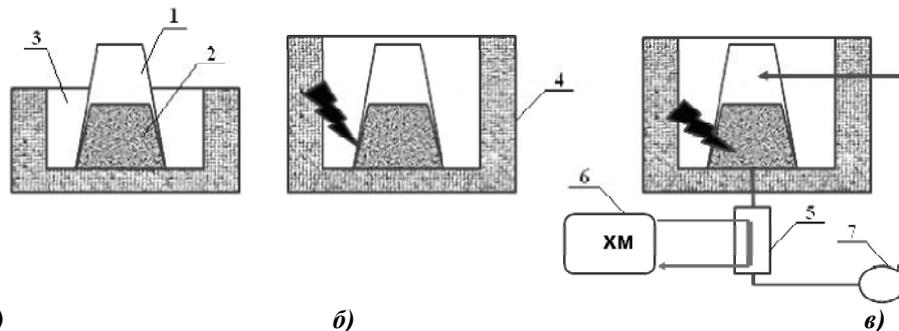
$$w = \frac{Q_m}{\rho_a * S_n} \quad Re = wd / \nu \quad (3)$$

В (1) – (3) принято: рэ – плотность экстракта; Cн – начальное содержание целевых компонентов в плодах; F – площадь поверхности фазового контакта; n – число частиц, f – средняя площадь поверхности 1 частицы; Qм – массовый расход экстрагента; ρа – плотность экстрагента; Sn – площадь пористости; d – диаметр пористости; ν – вязкость экстрагента.

Кинетические зависимости получены для 3 разных способов экстрагирования, которые реализуются на установках (рис. 1):

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

- на базе термостата (имитирует традиционные принципы экстрагирования, рис. 1, а);
- на базе микроволновой камеры при неподвижном слое плодов шиповника (рис. 1, б);
- в микроволновом экстракторе конструкции ОНАПТ с циркуляционным контуром (рис. 1, в).



а) б) в)
1 – реакционный объем; 2 – плоды; 3 – водяная баня; 4 – микроволновая камера;
5 – охладитель; 6 – холодильная машина; 7 – циркуляционный насос

Рис. 1 – Экспериментальные стенды

Стенд с циркуляционным контуром и холодильной машиной (рис. 1,в) позволял постоянно поддерживать температуру в реакционном объеме на уровне 30 ... 45 °С, что существенно для сохранности пищевой ценности продукта. В качестве экстрагента исследовалась вода.

Опыты проводились в широком диапазоне изменения параметров (табл. 1).

Таблица 1 – Диапазон экспериментального моделирования

Сырьё	Давление, МПа	Температура, °С	Концентрация, %	Гидромодуль
Шиповник	0,01 – 0,1	45 - 90	8	1/1... 1/4
Черноплодная рябина	0,1	40 - 100	9	2/1... 1/2
Калина	0,1	60	6,3	1/2
Клюква	0,1	60	6	1/2

Опыты проводились с целыми и расплюснутыми плодами, их частями.

Обсуждение результатов экспериментального моделирования. Программа опытов строилась так, чтобы была возможность анализировать данные экспериментов при постоянных значениях $Vэ$, Γ , $Nм$, F из которых формируются кинетические зависимости зависимости ключевого параметра - коэффициента массоотдачи (β , м/с): $\beta = f(Vэ)$; $\beta = f(\Gamma)$; $\beta = f(Nм)$; $\beta = f(t)$; $\beta = f(F)$. Это позволяет оценить влияние основных факторов на интенсивность массопереноса.

Влияние электромагнитного поля. На первом этапе устанавливалось влияние вида энергии. Сравнивались опыты при традиционном и микроволновом подводе энергии (рис. 2). Опыты с черноплодной рябиной показали, что при экстрагировании в МВ-поле наблюдается значительное увеличение значений оптической плотности полученных экстрактов. В таблице 1 приведены результаты значений содержания сухих веществ в полученных экстрактах. Содержание сухих веществ в экстрактах, полученных при обработке в МВ-поле на порядок выше. Даже при длительном экстрагировании традиционными методами (при продолжительности процесса в 60 минут), выход экстрактивных веществ оказался в 2 раза меньше. Второй вывод из проведенных опытов можно сделать о рациональном времени процесса, и возможном ограничении его 30 минутами. Более того, экстракт из черноплодной рябины, полученный при обработке в МВ-поле обладает более высокими качественными показателями, чем экстракт, полученный традиционным способом.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика качества экстрактов черноплодной рябины при различной продолжительности процесса

Концентрация сухих веществ, % (экстрагирование при 40 °С)			
МВ-обработка (30 мин)	Традиционный способ (30 мин)	МВ-обработка (60 мин)	Традиционный способ (60 мин)
10%	1%	11 %	2%

Аналогичные результатам получены и при исследовании экстрагирования шиповника (рис. 2).

Опыты (рис. 2) проводились на стендах №1 и №2 с целыми плодами шиповника при гидромодуле 1:3 и температуре 65 °С. Видно (рис. 2), что на протяжении всего эксперимента применение МВ- генератора интенсифицирует процесс массопереноса в разы. Получено пятикратное повышение выхода целевых компонентов.

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Влияние размера плода. Известно [30], что эффективность диффузии зависит от размера частиц. С точки зрения диффузионного извлечения наиболее эффективно экстрагирование из частиц более «тонкого» помола. Это связано с тем, что уменьшение размера частиц сокращает путь диффундирующих молекул, увеличивается поверхность контакта твердых частиц с жидкостью. Но, с другой стороны, более «тонкий» помол в ряде случаев приводит и к ухудшению процесса извлечения водорастворимых веществ из зерна, так как при этом может уменьшаться смачиваемость пылевидных частиц, происходит их взаимная блокировка. На рис. 3 приведена зависимость гидро модуля и степени измельчения ягод черноплодной рябины на содержание сухих веществ в полученных образцах экстракта. С точки зрения концентрации экстракта лучшим является образец с измельченными ягодами и соотношением ягоды - экстрагент 2:1. Однако при этом процесс протекает при меньшей величине движущей силы. Поэтому, не все экстрагируемые вещества могут переходить в экстракт, то есть будут наблюдаться потери целевых компонентов сырья. Свидетельством этого являются результаты опытов, полученных на стенде №2, который был снабжен обратным холодильником и вакуум насосом. Это позволяло проводить исследования процесса экстрагирования в режиме кипения (рис.3), но при пониженных температурах (35 ... 50 °С). Поэтому, не все

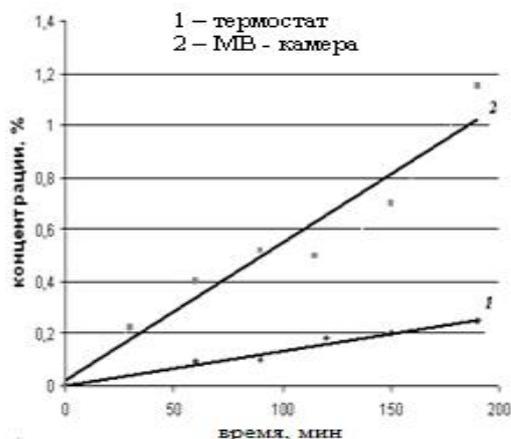
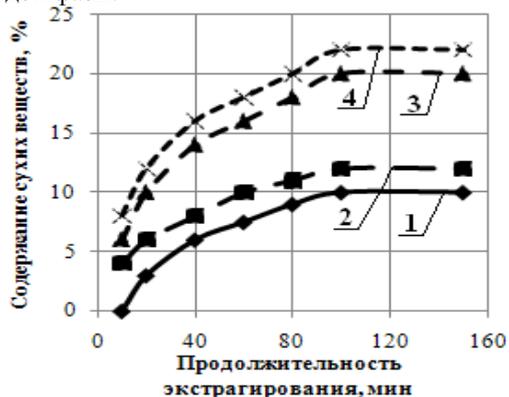


Рис. 2 – Сравнение интенсивности массопереноса при экстрагировании шиповника: 1 – стенд №1 (термостат); 2 – стенд №2 (микроволновая камера)

экстрагируемые вещества могут переходить в экстракт, то есть будут наблюдаться потери целевых компонентов сырья. Свидетельством этого являются результаты опытов, полученных на стенде №2, который был снабжен обратным холодильником и вакуум насосом. Это позволяло проводить исследования процесса экстрагирования в режиме кипения (рис.3), но при пониженных температурах (35 ... 50 °С).

После исследования кинетики экстрагирования в вакууме (рис. 4, линия 1) плоды вторично заливались водой, измерялись изменения во времени концентрации экстракта (рис. 4, линия 2). Экстрагирование проводилось в неподвижном слое ($t = 45-50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Аналогично получена зависимость и для третьего залива (рис. 4, линия 3). Видно, что не все целевые компоненты извлечены после первого опыта. Поэтому, корректный вывод о влиянии гидро модуля можно сделать по величине коэффициента массоотдачи и на основе анализа линий истощения твердой фазы.



1 – целые 1:1; 2 – измельченные 1:2;
3 – измельченные 1:1; 4 – измельченные 2:1.

Рис. 3 – Влияние гидро модуля и степени измельчения ягод на кинетику экстрагирования черноплодной рябины

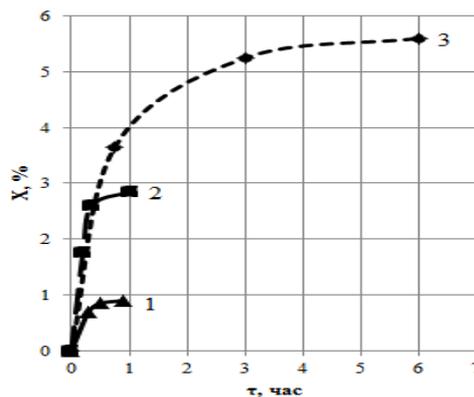


Рис. 4 – Изменение концентрации экстракта шиповника

Влияние вида энергии и размера плода иллюстрируется опытами с шиповником (рис. 5). Исследовались целые зерна в термостате (линия 1) и в МВ-экстракторе (линия 2). Интенсивность массопереноса из половинок зерен растет в разы (рис. 5, линия 3).

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Комплексное влияние температуры и мощности МВ – поля. Известно, что температура является фактором, значительно интенсифицирующим процесс извлечения водорастворимых веществ, так как ее увеличение приводит к возрастанию скорости экстрагирования [7]. Однако, спектральные кривые экстракта из черноплодной рябины, приведенные на рис. 6 показывают, что проведение процесса экстрагирования при высоких температурах приводит к разрушению комплекса биологически-активных веществ сырья. Проведение процесса в МВ-поле при температуре 40 °С дает результаты лучше, чем при высоких температурах, так как при этом не происходят физико-химические изменения сырья, что повышает функциональные свойства готового продукта.

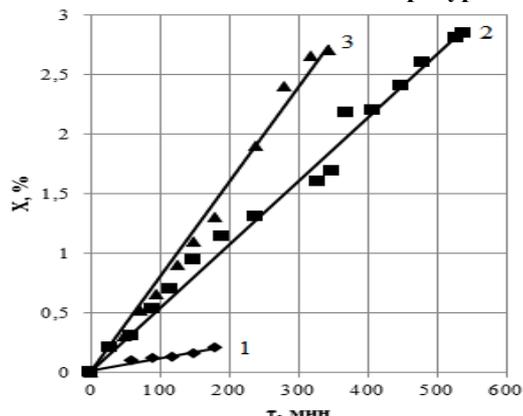
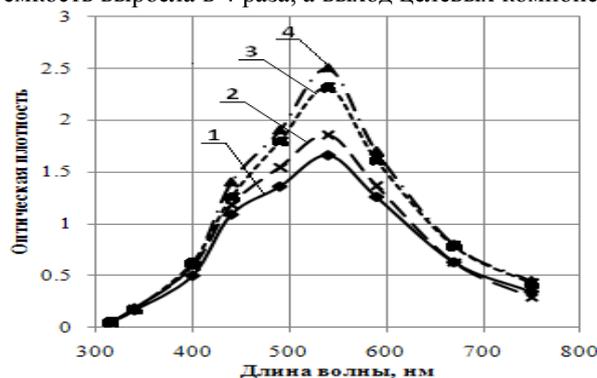


Рис. 5 – Влияние вида энергии и размера плодов

В опытах с целыми плодами шиповником в неподвижном слое (стенды №1 и №2) сравнивалось комплексное влияние температуры и вида энергии. Оказалось, что за одинаковое время экстрагирования концентрация раствора была равной и для традиционной технологии, и для процесса в МВ – экстракторе (рис. 7). Однако опыты на стенде №1 проводились при уровне температур 70 °С (рис. 7, 1), а на стенде №2 - при 20 °С (рис. 7, 2). Энергоемкость процесса МВ – экстрагирования составляла 0,3 МДж на 1 кг плодов. При МВ – экстрагировании на уровне температур 70 °С (рис. 7, 3) энергоемкость выросла в 4 раза, а выход целевых компонентов – в 3,5 раза.



1 – 100 °С; 2 – 40 °С; 3 – 80 °С; 4 – СВЧ 40 °С.

Рис. 6 – Спектральные характеристики экстрактов черноплодной рябины

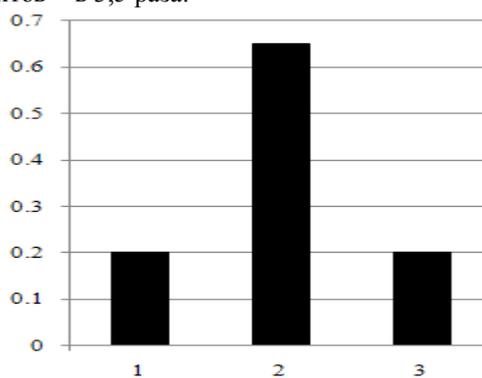


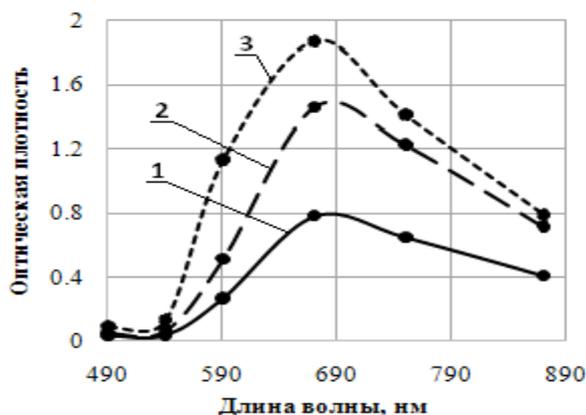
Рис. 7 – Влияние вида энергии и температуры на кинетику экстрагирования шиповник

Можно сделать вывод, что действие микроволнового поля влияет на скорость экстрагирования в большей мере, чем температура процесса (рис. 6, 7).

Влияние вида сырья. Разработка технологии извлечения экстрактивных веществ из растительного сырья должна проводиться с учетом минимизации времени проведения процесса и энергозатрат. Полученный продукт должен быть безопасен в пищевом отношении по микробиологическим и физико-химическим показателям; а разработанная технология должна быть доступной для предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности, и легко внедряемой уже в существующие технологические линии производства продуктов питания. Объектами исследований определены: черноплодная рябина, клюква калина. Анализировались спектральные характеристики экстрактов (рис.8).

Экстракт из черноплодной рябины имеет большее значение оптической плотности (рис. 8). Черноплодная рябина содержит витамины (А, В, С, РР), микроэлементы (кобальт, медь, цинк, железо и т.д.), аминокислоты, органические кислоты, антоцианы, танины, флавоноиды. Особенной ценностью является ее способность концентрировать селен и накапливать йод. Содержание йода в ней 0,005...0,01 мг/100г, столько его содержится в красной смородине и хурме, а больше в плодах фейхоа, которые известны как лучшие концентраторы этого элемента. Но самой ценной составляющей черноплодной рябины являются биофлавоноиды, которые имеют Р-витаминные свойства – катехины, флавонолы, антоцианы [38-40]. То есть, черноплодная рябина содержит больше всего красящих веществ и функциональных компонентов и, соответственно, ценная как сырье для получения растительного экстракта.

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ



1 – калина; 2 – клюква; 3 – черноплодная рябина

Рис. 8 – Влияние вида сырья на оптическую плотность растительных экстрактов

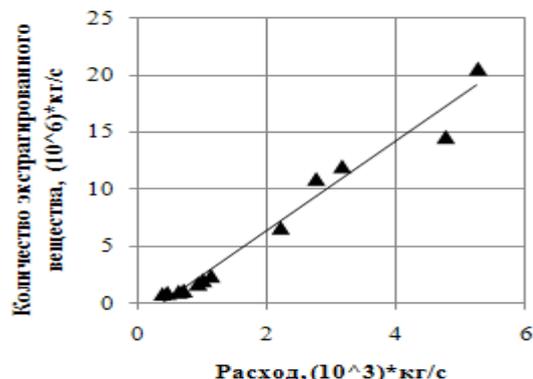


Рис. 9 – Влияние расхода экстрагента на интенсивность выхода целевых веществ

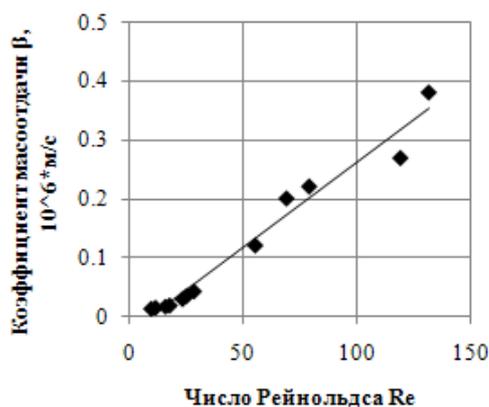


Рис. 10 – Зависимость коэффициента массоотдачи от числа Рейнольдса

Влияние скорости потока экстрагента. Задачей этой серии опытов являлось установить непосредственное влияние на массоперенос скорости потока экстрагента. Опыты проводились на стенде №3 с целыми плодами шиповника.

Результаты опытов позволяют сделать вывод, что с увеличением расхода в 5 раз, выход экстрактивных веществ растет практически на порядок (рис. 9). Объяснить этот факт можно тем, что уменьшается толщина диффузионного пограничного слоя и увеличивается площадь поверхности фазового контакта «плод - экстрагент». Вместе с тем режимы течения в слое плодов были ламинарные, о чем свидетельствуют значения чисел Рейнольдса (рис. 10).

Полученная зависимость (рис. 10) может использоваться при проектировании микроволновых экстракторов.

Выводы. Микроволновые технологии являются перспективным средством переработки лекарственного растительного сырья в процессах экстрагирования. Безградиентный подвод энергии во всем объеме плодов позволяет организовать мягкие режимы экстрагирования, получить качественный продукт при снижении энергетических затрат. Выход целевых компонентов осуществляется при температурах до 50 °С, продолжительность процесса сокращается в разы, а, иногда, и на порядок.

Литература

1. Безценная Т. С., Шульга Л. И. Перспективы использования лекарственного растительного сырья при создании многокомпонентных фитопрепаратов. Режим доступа: <http://ptcevolution.me/perspektivy-ispolzovaniya-lekarstvennogo-rastitelnogo-syruya-pri-sozdanii-mnogokomponentnyx-fitopreparatov/>
2. Сергиенко О. М., Жигунова А.К. Роль и место фитотерапии в лечении состояний, сопровождающихся продуктивным кашлем. Режим доступа: <http://www.umj.com.ua/article/53537/rol-i-mesto-fitoterapii-v-lechenii-sostoyanij-soprovozhdayushhixsya-produktivnym-kashlem>

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

3. Шиповник полезные свойства. Режим доступа: <http://www.medn.ru/statyi/SHipovnikroza.html>
4. М. Лонцин, Р. Мерсон Основные процессы пищевых производств: Пер. с англ.- М., 1983 – 384 с.
5. Процессы и аппараты химической технологии. Часть 2 /Под общ. ред. Л.Л.Товажнянского.- Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – 532 с.
6. Рогов И.А., Некрутман С.В., Лысов Г.В. Техника сверхвысокочастотного нагрева пищевых продуктов. М., 1981. – 200 с.
7. Бурдо О.Г., Ряшко Г.М. Экстрагирование в системе «кофе - вода». Одесса, 2007. – 176 с.
8. Лысянский В.М. Экстрагирование в пищевой промышленности / В.М. Лысянский, С.М. Гребенюк. – Агропромиздат, 1987. – 188 с.
9. Теоретические основы тепло- и влагообменных процессов пищевой технологии / В.М. Харин, Г.В. Агафонов. – М.: Пищевая промышленность, 2001. – 343 с.
10. Белобородов В.В. Извлечение биологически активных веществ из пряноароматического сырья в системе процессов экстрагирования-отжим / В.В. Белобородов, В.Н. Брик, А.В. Прокофьев // Масло-жировая промышленность. – 1995. – № 3-4. – С. 24-27
11. Болотов В.М. Совершенствование технологии получения пищевых красителей из ягод аронии // Пищевые ингредиенты: сырье и добавки. – 2002. – №1. – С. 24.
12. Красители для пищевых продуктов: Обзорная информация. – М.: АгроНИИТЭИПП, 1989. – 15 с.
13. Христюк В.Т. Влияние электромагнитного поля на выход и состав клюквы / В.Т. Христюк, Л.Н. Узун, М.Г. Барышев // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2002. – № 4. – С. 73-74.
14. Терзиев В.Г. Интенсификация экстрагування у харчових технологіях В.Г. Терзиев, П.І. Осадчук, О.Г. Бурдо // Харчова і переробна промисловість. –1999. – № 9. – С. 30-31.
15. Ширеторова В. Г. Разработка основ технологического процесса получения кедрового масла свч-экстракцией спиртом этиловым: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Улан-Удэ, 2002. – 19 с.
16. Armstrong S.D. Microwave-Assisted Extraction for the Isolation of Trace Systemic Fungicides from Woody Plant Material: Dissert... PhD. – Virginia, 1999. –129 p.
17. Haizhou Li Ultrasound and Microwave Assisted Extraction of Soybean Oil: A Thesis Presented for the Master of Science Degree. – Knoxville, 2002. – 67 p.
18. Amer Ali Scrutiny of Microwave Essential Oil Extraction / Ali Amer, Rosli Mohd Yunus, Ramlan Abd. Aziz. – Malaysia Technology University. – 2003. – 7 p.
19. Hupe M. Effects of moisture content in cigar tobacco on nicotine extraction – similarity between Soxhlet and focused open-vessel microwave-assisted techniques / J. Chromatogr. – 2003. – 1011. – № 1-2. – P. 213-219.
20. Schenker S. Pore structure of coffee beans affected by roasting conditions / S. Schenker, S. Handschin, B. Frey, R. Perren, F. Escher / J. Food Sci. – 2000. – 65. – № 3. – P. 452-457.
21. Шевцов А.А. Разработка и научное обоснование способа обжарки кофе перегретым паром / А.А. Шевцов, Л.Н. Остриков, А.Н. Зотов, И.В. Подгузова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – № 8. – С. 148-150.
22. А.с. 1839313, Россия, МКИ⁶ А 23 F 5/24. Способ производства растворимого кофе / Ф.Г. Нахмедов. – № 4746175/13; Заявлено 05.10.89; Опубл. 27.05.96, Бюл. № 15.
23. Пат. 2080076 Россия, МКИ⁶ А 23 F 5/24. Способ экстрагирования жаренного и молотого кофе: / Горбен Бринк Ларсен. – № 93053498/13; Заявл. 21.01.92; Опубл. 27.05.97, Бюл. №15.
24. Пат. 6337098 США, МПК⁷ А 23 F 5/00. Method of improving the aroma and flavor of coffee using noble gases / American Air Liquide, K.C. Spenser, C.E. Boisrobert – № 08/305733; Заявл. 14.09.1994; Опубл. 08.01.2002.
25. Пат. 5637343 США, МКК⁶ А 23 F 5/24. Process for making coffee concentrate / G.B. Ryan – № 504539; Заявл. 20.07.95; Опубл. 10.06.97.
26. Пат. 403000 Австрия, МКИ⁶ А 47 J 31/36, А 23 F 5/26. Verfahren zum Zubereiten eines Kaffeegetränkes durch Rotationsextraktion / Tchibo Frisch-Röst-Kaffee GmbH. – № 120/96; Заявл. 26.01.96; Опубл. 27.10.97.
27. Пат. 2059382 Россия, МКИ⁶ А 23 F 5/10 Промышленное устройство для экстракции ценных веществ из растительного сырья с помощью свч-энергии Касьянов Г.И., Квасенков О.И.; ВНИИ консерв. и овощесуш. пром-ти – № 93031259/13; Заявл. 24.06.93. Опубл. 10.05.96. Бюл. №13.
28. Пат. 6497911 США, МПК⁷ А 23 F 5/00. Process for the preparation of a water soluble coffee or tea product from a non-rewetted particulate material obtained from an extract by drying / Niro A/S, Hansen Ove Emile, Sorensen Per Vo, Ilkjaer Jorgen, Sorensen Jeus Mourits – № 09/567581; Заявл. 05.05.2000; Опубл. 24.12.2002.
29. Bassoli D.G. Instant coffee with natural aroma by spray-drying / D.G. Bassoli, A.P. Sumi, Y. Akashi, H. Vchida, A.S. De Castro, N. Ohtani, T. Obayashi, M. Nakayama, A. Shigekane, Y. Tamura, M. Tomita, M. Takahashi, N. Narui // 15 ème Colloq. Sci. int. Cafè. – Paris, 1993. – P. 712-718.
30. Бурдо О.Г., Пищевые нанотехнологии – Херсон, 2013 – 294с.

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

31. Бурдо О.Г. Наномасштабные эффекты в пищевых технологиях //Инженерно-физический журнал. Минск, т.78, № 1.-2005. - С.88-93.
32. Burdo O.G. Nanoscale effects in food-production technologies // Journal of Engineering Physics and Thermophysics – 2005.- Vol.78, Issue 1.- P.90-96.
33. Бурдо О.Г. Принципы направленного энергетического действия в пищевых нанотехнологиях /Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Бандура В.Н.// Научный информационно-аналитический инженерный журнал «Problemele energeticii regionale (Проблемы региональной энергетики)» – Кишинев, 2015г. – №1 (27) – С.79–85
34. Бурдо О.Г., Альхури Юсеф Пути повышения энергетической эффективности процессов переработки плодов шиповника //Наук. праці Од. націон. акад. харчових технологій. – Одеса: 2015. – Вип.47, Т2. – с.118-121.
35. Рабиндер П.А. О формах связи влаги с материалами в процессе сушки.-В кн: Всесоюзное научно-техническое совещание по сушке. М. Профиздат, 1958. – 286 с.
36. Лыков А.В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968. 472 с.
37. Кафаров В.В. Основы массопередачи: учеб. пособие для вузов / В.В. Кафаров.- 4-е изд., перераб. и доп.- М. Высш. шк., 1972. – 496 с.
38. Хомич Г.П. Використання дикорослої сировини для забезпечення харчових продуктів БАР [Текст]: монографія/ Г.П. Хомич, Н.І. Ткач, Полтав. Ун-т спожив. Кооп. України. – Полтава: РВВ ПУСКУ, 2009. – 159 с.
39. Петрова В.П. Биохимия дикорастущих плодово-ягодных растений [Текст]/В.П. Петрова – К.:Вища школа, 1986. – 287 с.
40. Шапиро Д.К. Дикорастущие плоды и ягоды [Текст]./Д.К. Шапиро, Н.И. Манциводо, В.А. Михайловская – Мн.: Ураджай. – 1988. – 128 с.

УДК 663.933.061- 027.332:537-962

**МИКРОВОЛНОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ
МАССООБМЕННЫХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ
ПЕРЕРАБОТКЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ
MICROWAVE TECHNOLOGIES OF MASS-TRANSFER AND HEAT PROCESSES
INTENSIFICATION FOR VEGETABLE MATERIALS TREATMENT**

¹Левтринская Ю. О., аспирант, ¹Ружицкая Н.В., канд. техн. наук., ассистент,
¹Резниченко Т.А., аспирант, ²Бандура В.Н., канд. техн.наук, профессор
¹Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса
²Винницкий национальный аграрный университет, г. Винница
¹Levtrinskaya Yu.O., ¹Ruzhitskaya N.V., ¹Reznichenko T.A., ²Bandura V.N.
¹Odessa National Academy of Food Technoogies, Odessa, Ukraine
²Vinnitsa National Agrarian University

Copyright © 2016 by author and the journal “Scientific Works”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



*В статье рассмотрены микроволновые технологии интенсификации процессов экстрагирования вкусовых и ароматических компонентов из кофейного сырья и концентрирования экстрактов ароматических и биологически-активных веществ. Показано влияние микроволнового подвода энергии на выход целевого компонента из кофейных зерен *Coffea arabica* L. Установлено повышение выхода экстрактивных веществ при микроволновом подводе энергии. Показана динамика выхода целевых веществ из кофейных зерен при микроволновом и традиционном тепловом подводе энергии. Проведены исследования теплового потока в кассетах противоточного микроволнового экстрактора. Получены зависимости для влияния количества подведенной энергии, расхода экстрагента и слоя продукта в экстракторе на выход целевого компонента.*

Для интенсификации процесса вакуум-выпарки предлагается обеспечить равномерность подвода энергии и исключить промежуточный теплоноситель за счет использования микроволновых технологий. Приведены