

УДК 674.031.772.324.2: 636.085.16+66.061.34

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2026-16-1-141-157>

Извлечение халконов методом экстракции из сухого растительного сырья

А. С. Пашина¹, К. Ф. Янкив², С. А. Романенко¹, С. Д. Пожидаева¹✉

¹Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

²Российский государственный социальный университет
ул. Вильгельма Пика, д. 4/1, г. Москва 129226, Российская Федерация

✉e-mail: pozhidaeva_kursk@mail.ru

Резюме

Цель. Главной проблемой синтеза α,β -ненасыщенных карбонильных соединений является их высокая реакционная способность, обусловленная наличием активных электрофильных центров. Вместе с тем халконы с широким спектром фармакологической активности входят в состав доступного растительного сырья, такого как цветки бессмертника песчаного (*Helichrysum arenarium*), коры ивы белой (*Salix alba*) и корни солодки гладкой (*Glycyrrhiza glabra*). Рассмотрение возможности выделения халконов из сухого растительного сырья водным раствором этилового спирта экстракцией стало целью данной работы.

Методы. В исследовании применялись следующие методы экстракции органических соединений: качественное определение соединений и спектрофотометрический метод определения количественного содержания суммы халконов; физико-химические методы определения влажности, вязкости, плотности и других характеристик.

Результаты. Рассмотрены известные варианты синтеза халконов и проблемы при их реализации. В качестве альтернативы предложено извлечение халконов из сухого растительного сырья водным раствором этилового спирта в условиях непрерывной экстракции при температуре кипения растворителя в аппарате Сокслета и мацерацией при комнатной температуре. Выбранные объекты (бессмертник песчаный (*Helichrysum arenarium*), ива белая (*Salix alba*) и солодка гладкая (*Glycyrrhiza glabra*)) отличаются обширной областью распространения и рассматриваются как доступное сырье. Проведена оценка влияния влажности исходного сырья на количество извлеченных халконов, соотношения сырья и растворителя.

Заключение. Установлено, что и непрерывная экстракция в аппарате Сокслета, и мацерация в условиях отсутствия перемешивания пригодны для извлечения халконов из сухого растительного сырья. Для всех изученных в работе видов сырья (цветки, корень, кора) непрерывная экстракция при температуре кипения растворителя оказалась более эффективной. Максимальное количество халконов удалось извлечь из цветков бессмертника песчаного в условиях непрерывной экстракции. На примере извлечения халконов из цветков бессмертника песчаного установлено, что максимальный выход суммы флавоноидов наблюдается при соотношении сырьё/экстрагент 1:10.

Ключевые слова: халкон; экстракция; цветки бессмертника песчаного; кора ивы белой; корень солодки; мацерация; экстрактор Сокслета.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Извлечение халконов методом экстракции из сухого растительного сырья / А. С. Пашина, К. Ф. Янкив, С. А. Романенко, С. Д. Пожидаева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2026. Т. 16, № 1. С. 141–157. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2026-16-1-141-157>.

Поступила в редакцию 10.02.2026

Подписана в печать 02.03.2026

Опубликована 25.03.2026

Extraction of chalcones from the dry vegetable raw materials by extraction

Anna S. Pashina¹, Karine F. Yankiv², Sergey A. Romanenko¹,
Svetlana D. Pozhidaeva¹✉

¹Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

²Russian State Social University
4/1 Wilhelm Peak Str., Moscow 129226, Russian Federation

✉e-mail: pozhidaeva_kursk@mail.ru

Abstract

Purpose. The main problem of the synthesis of α,β -unsaturated carbonyl compounds is their high reactivity due to the presence of active electrophilic centers. At the same time, chalcones with a wide range of pharmacological activity are included in the composition of available plant raw materials, such as flowers of sand Helichrysum arenarium, bark of white willow (Salix alba) and roots of licorice (Glycyrrhiza glabra). The purpose of this work was to consider the possibility of extracting chalcones from dry plant raw materials using an aqueous solution of ethyl alcohol.

Methods. The following methods were used in the study extraction of organic compounds; qualitative determination of compounds and spectrophotometric determination of the quantitative content of the sum of chalcones; physical and chemical methods for determining moisture content, viscosity, density, and other characteristics.

Results. The paper considers known variants of chalcon synthesis and problems in their implementation. As an alternative, the extraction of chalcones from dry vegetable matter with an aqueous solution of ethyl alcohol under conditions of continuous extraction at the boiling point of a solvent in a Soxhlet apparatus and maceration at room temperature is proposed. The selected objects (sandy immortelle (Helichrysum arenarium), white willow (Salix alba), and smooth licorice (Glycyrrhiza glabra)) have a wide distribution area and are considered as affordable raw materials. The effect of the initial raw material moisture on the amount of extracted chalcones and the ratio of raw material and solvent was evaluated.

Conclusion. It has been established that both continuous extraction in a Soxhlet apparatus and maceration in the absence of stirring are suitable for extracting chalcones from dry plant raw materials. For all the types of raw materials studied in this work (flowers, roots, and bark), continuous extraction at the boiling point of the solvent proved to be more effective. The maximum amount of chalcones was extracted from the flowers of Helichrysum arenarium under conditions of continuous extraction. Based on the extraction of chalcones from the flowers of Helichrysum arenarium, it was found that the maximum yield of flavonoids is observed when the ratio of raw material to extractant is 1:10.

Keywords: chalcone; extraction; sand immortelle flowers; white willow bark; licorice root; maceration; Soxhlet extractor.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Pashina A.S., Yankiv K.F., Romanenko S.A., Pozhidaeva S.D. Extraction of chalcones from the dry vegetable raw materials by extraction. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2026;16(1):141-156. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2026-16-1-141-156>.

Received 10.02.2026

Accepted 02.03.2026

Published 25.03.2026

Введение

Халконы – важный класс флавоноидов с широким спектром применения в промышленности, химии и медицине [1]. Оптические и флуоресцентные свойства

позволяют их использовать в качестве красителей и в их производстве, во флуоресцентной микроскопии медицине [2], в качестве хемосенсоров, индикаторов,

флуоресцентных зондов для анализа биологических объектов и других методах анализа [3]. Электронные свойства халконов меняются в зависимости от природы заместителей, что позволяет контролировать их реакционную активность и обуславливает их применение в качестве катализаторов [4], синтонов, исходных реагентов в синтезе [5]. Ароматичность халконовых соединений делает их востребованными в парфюмерии и косметологии [6], а сильные антиоксидантные свойства, противовоспалительная, антимикробная и

противоопухолевая активность [7] определяют их использование в фармацевтической промышленности [8].

В настоящее время в литературе множество данных о методах синтеза халконов, получения различных гетеро- и полициклических систем на их основе (табл. 1, рис. 1) с применением микроволнового излучения, ультразвука [9], ионных жидкостей [10] и других вариантов исполнения [11].

Таблица 1. Основные способы синтеза халконов (α,β -ненасыщенных карбонильных соединений)

Table 1. The main methods of chalcone synthesis (α,β -unsaturated carbonyl compounds)

Способ / синтез	Описание			Недостатки
	схема	катализатор	t, °C	
Конденсация Кляйзена – Шмидта [1]	Рис. 1, а	Щелочной	50–100	Медленная скорость реакции; сложная смесь из продукта, побочных продуктов; необходимо введение защитных групп
	Рис. 1, б	Кислотный		
Карбонилирующая реакция Хека	Рис. 1, в	Палладиевый	–	Выход продукта зависит от типа лиганда катализатора, растворителя и заместителей в ароматическом кольце; может составлять от 4 до 95%
	Рис. 1, г	Монооксид углерода	–	
Реакция Сузуки – Мияуры [12]	Рис. 1, д	Комплекс палладия (Pd(OAc) ₂)	60–120	Несколько суток, образование побочных продуктов; ограничения с точки зрения экологичности
Реакция Сузуки	Рис. 1, е	Комплексы палладия с фосфиновыми лигандами (например, Pd(PPh ₃) ₂)	60–120	Чувствительность к температуре; необходимость присутствия основания; ограничения на использование некоторых растворителей; трудность отделения гомогенных палладиевых катализаторов
Олефинирование Джулии – Коченски [13]	Рис. 1, ж	–	–	Активирующая ароматическая группа, связанная с сульфеном, должна иметь электрофильный характер; условия проведения реакции; экологичность процесса
Перегруппировка Мейера – Шустера	Рис. 1, з	Кислоты Льюиса; соль серебра, AuCl ₃ и FeCl ₃ в ТГФ	–	Высокие температуры, ограничения для некоторых субстратов, невысокий выход

Многостадийность процесса, длительность, сложность аппаратного оформления, зависимость выхода продукта от природы реагентов и растворителя, сложность выделения продукта из

реакционной смеси и необходимость тщательной очистки, требования к экологичности процесса и многие другие факторы предопределили поиск альтернативных вариантов получения халконов.

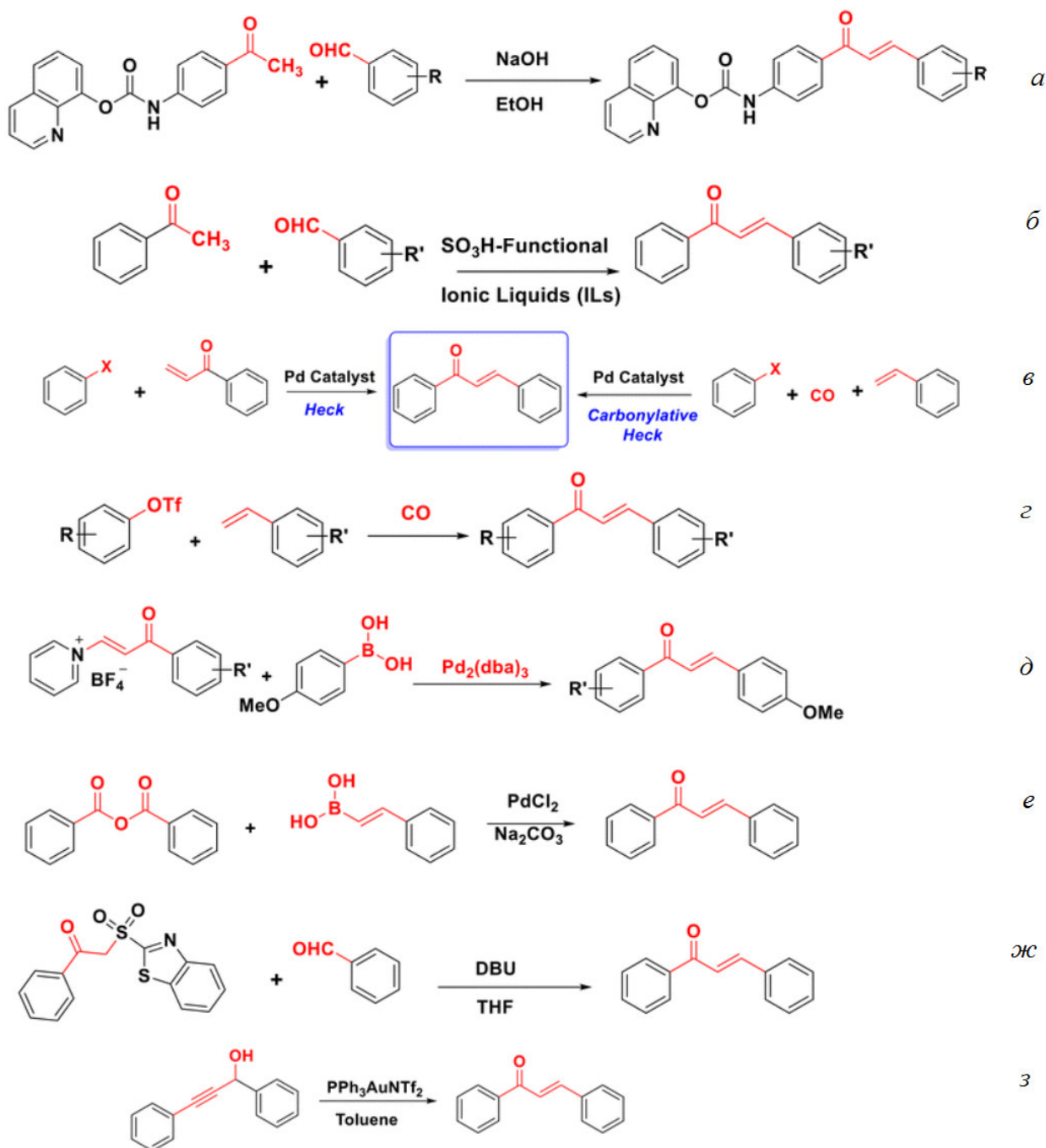


Рис. 1. Примеры синтеза халконов конденсацией Кляйзена – Шмидта на щелочном (а) и кислотном (б) катализаторах; реакцией Хека (в-г); Сузуки (е) и Сузуки – Мияуры (д); олефинированием Джулии – Коченски (ж) и перегруппировкой Мейера – Шустера (з)

Fig. 1. Examples of chalcone synthesis by Claisen – Schmidt condensation on alkaline (a) and acidic (б) catalysts; Heck reaction (в-г); Suzuki (е) and Suzuki – Miyaura (д); Julia – Kocienski olefination (ж) and Meyer – Schuster rearrangement (з)

Экстракция – метод выделения из смесей как органических, так и неоргани-

ческих веществ [14], среди достоинств которого простота аппаратного оформления; быстрота процесса; мягкие условия,

исключающие деструкцию веществ; высокая эффективность, полнота разделения и концентрирования. Использование технологии экстрагирования позволяет извлечь из растительного сырья практически полный комплекс веществ в их естественной сбалансированности при высокой концентрации и чистоте продукта, поэтому экстракция является одним из основных методов выделения биологически активных веществ [15]. Компоненты, полученные данным способом, отличаются более мягким их воздействием на организм и уменьшением числа нежелательных побочных реакций [16].

Из литературы [17] известно, что халконы содержатся в различных частях растения, особенно в семенах, корневищах, листьях и корнях. Халконы нарингенина и его конъюгаты содержатся в томатах, дигидрохалконы накапливаются в корнях, побегах, листьях и плодах яблони, из солодки выделено и идентифицировано

около 56 халконов, 14 из которых обладают противоопухолевыми свойствами (ритерпеновые сапонины, флаваноны и халконы с различными конъюгатами). Среди других источников – травянистые растения (дудник, бессмертник, череда) и деревья (кора ивы остролистной и почки тополя чёрного). Поиск альтернативных вариантов получения халконов экстракцией из некоторых видов растительного сырья с последующим выделением стало целью данной работы.

Материалы и методы

Объектом для исследования в данной работе служили цветки бессмертника песчаного (лат. *Helichrysi arenarii flores*), кора ивы белой (лат. *Cortex Salix albae*) и корень солодки голой (лат. *Glycyrrhiza*) (рис. 2) с характеристиками, представленными в таблице 2. Свойства экстрагента представлены в таблице 3.



Рис. 2. Внешний вид образцов: а – цветки бессмертника; б – кора ивы белой; в – солодка и её корень

Fig. 2. Appearance of the samples: а – immortelle flowers; б – white willow bark; в – licorice and its root

Таблица 2. Характеристика сырья**Table 2.** Characteristics of the raw materials

Наименование	Показатели для проверки	Регламентирующее значение с отклонениями	Регламент на метод испытания
Цветки бессмертника песчаного	Влажность	11,5%	ГОСТ 24027.2-80
	Цвет	Желтый	ГОСТ 6677-80
	Запах	Характерный травяной	
Кора ивы белой	Влажность	18,2%	ГОСТ 24027.2-80
	Цвет	Коричневый	ГОСТ 6677-80
	Запах	Землисто-травянистый	
Корень солодки	Влажность	6,6%	ГОСТ 24027.2-80
	Цвет	Коричневый	ГОСТ 6677-80
	Запах	Древесно-травянистый	

Таблица 3. Свойства экстрагента**Table 3.** The properties of extraction solvent

Параметр	Значение	Комментарий
Измеренная плотность при 20°C	807 кг/м ³	Основной экспериментальный результат
Соответствующая крепость	86,5 об. %	Рассчитана на основе измеренной плотности
Номинальная крепость спирта-ректификата	96,0 об. %	Ожидаемое значение для чистого спирта
Плотность спирта-ректификата 96,0 об. % (по ГОСТ)	809 кг/м ³	Эталонное значение для сравнения

Пробоподготовка сырья включает определение массовой доли влаги в лекарственном растительном сырье. Проводится перед использованием в соответствии с ОФС.1.5.30007 «Определение влажности лекарственного растительного сырья и лекарственных средств растительного происхождения». Для этого аналитическую пробу растительного сырья измельчают до размера частиц не более 10 мм, точную навеску массой ~2-3 г помещают во взвешенный, предварительно высушенный до постоянной массы бюкс. Высушивание в сушильном шкафу проводят в открытых бюксах со снятыми крышками при температуре 100–105°C не менее 2,5 ч., взвешивая охлажденный в эксикаторе бюкс первый раз не ранее чем через 2 ч. Операцию повторяют до достижения

постоянной массы и отклонения между двумя последовательными взвешиваниями не более 0,01 г.

Расчет массовой доли влаги проводят по формуле

$$W = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \cdot 100, \quad (1)$$

где m_1 – масса бюкса с навеской до высушивания, г; m_2 – масса бюкса с навеской после высушивания, г; m – масса навески до высушивания, г.

В результате проведенных опытов и расчетов установлено, что массовая доля влаги находится в пределах нормы в соответствии с фармакопейной статьей на данный вид сырья (ОФС.1.5.30007).

Для извлечения из сырья методом непрерывной циклической экстракции на аппарате Сокслета навеску растительного сырья загружают в гильзу из фильтровальной бумаги и помещают в центр аппарата. В колбу со шлифом вместимостью 500 мл наливают 300 мл этилового спирта, присоединяют к аппарату Сокслета и включают нагрев. Процесс включает несколько этапов [18]:

1) нагревание растворителя; растворитель, помещённый в холодную нижнюю часть прибора, нагревается до точки кипения, испаряется и проходит по боковому отводу;

2) паровая экстракция; пар растворителя поднимается в насадку, где конденсируется и стекает обратно в колбу, пока гильза наполняется растворителем, происходит экстракция;

3) циклический процесс; цикл повторяется 3 раза, что позволяет растворителю извлекать из сырья целевые компоненты [19].

Для извлечения из сырья мацерацией навеску сухого сырья в определенном соотношении сырье / экстрагент загружают в стеклянную емкость и заливают раствором этилового спирта. Настаивание проводят в прохладном, защищенном от света месте в течение трех суток без перемешивания. После настаивания вытяжку сливают, фильтруют, сырье хорошо отжимают для удаления из него остатков экстракта и помещают в хорошо закрытую тару из темного стекла [10].

Методы качественного определения содержания халконовых соединений представлены в таблице 4.

Таблица 4. Методы качественного определения содержания халконовых соединений

Table 4. Methods for the qualitative determination of the chalconic compounds

Реагент	Реакция	Описание
Бромная вода [1]	$\text{Ar-CO-CH}_3 + \text{Br}_2 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Ar-CO-CH}_2\text{Br} + \text{HBr}$	Образование белого или желтого осадка или обесцвечивание бромной воды
FeCl_3 [5]	Халкон (енольная форма) + $\text{FeCl}_3 \rightarrow [\text{Халкон-Fe}]_n^+ + \text{продукты}$	Появляется окраска от жёлтой до красно-коричневой
NaOH/KOH [4]	$2\text{C}_6\text{H}_3(\text{CO})_2 + 2\text{KOH} \rightarrow \text{Кумарин} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{K}^+$	Халкон без OH-групп оранжево-красный, 2'-гидроксихалкон вишнево-красный, 4-метоксихалкон кирпично-красный
HNO_3	$\text{Халкон} + \text{HNO}_3 \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} \text{Нитрохалкон} + \text{H}_2\text{O}$	Интенсивное окрашивание и выделение газа

Методика определения количественного содержания суммы халконов основана на способности флавоноидов или их окрашенных комплексов поглощать монохроматический свет при определённой длине волны. Для этого испытуемый раствор растительного препарата (раствор А) помещают в мерную колбу, прибавляют 5 мл 2%-ного спиртового раствора хлорида алюминия и 0,1 мл уксусной кислоты и доводят объем раствора 96%-ным спиртом до метки (25 см^3) при перемешивании

(раствор Б). Проводят измерение оптической плотности раствора через 40 минут при длине волны 408 нм в кювете с толщиной слоя 10 мм относительно раствора сравнения [14].

Содержание суммы халконов в пересчете на рутин (%) вычисляют по формуле

$$X = \frac{A \cdot 50 \cdot 25 \cdot 100}{Ea \cdot 1(100 - W)}, \quad (2)$$

где A – оптическая плотность раствора Б; $E=35$ – удельный показатель поглощения комплекса рутина с алюминия хлоридом при длине волны 408 нм; a – навеска сырья, г; W – влажность сырья, %

Определение динамической вязкости (Па·с) полученных настоек проводят с использованием капиллярного вискозиметра ВПЖ-2 с расчетом по формуле

$$\eta = \left(\frac{\pi P r^4}{8 L V} \right) t, \quad (3)$$

где P – давление, при котором происходит истечение жидкости из капилляра, кПа; r – радиус капилляра, мм; L – длина капилляра, мм; V – объем жидкости, протекающей через капилляр, мл; t – время истечения жидкости в объеме V , с.

Результаты и их обсуждение

Халконы представляют собой органические ароматические соединения, содержащие кетонную группу и две ароматические системы, соединенные метиленовой группой. В индивидуальном виде обычно это вещества желтой, оранжевой или оранжево-красной окраски. В природе этот класс соединений встречается в гликозидной форме в виде флавоноидов с открытой цепью, их разнообразие обусловлено наличием атомных заместителей в ароматических кольцах и дополнительными функциональными группами, среди которых гидроксильные группы, метокси- и пренильные заместители или их комбинации (рис. 3).

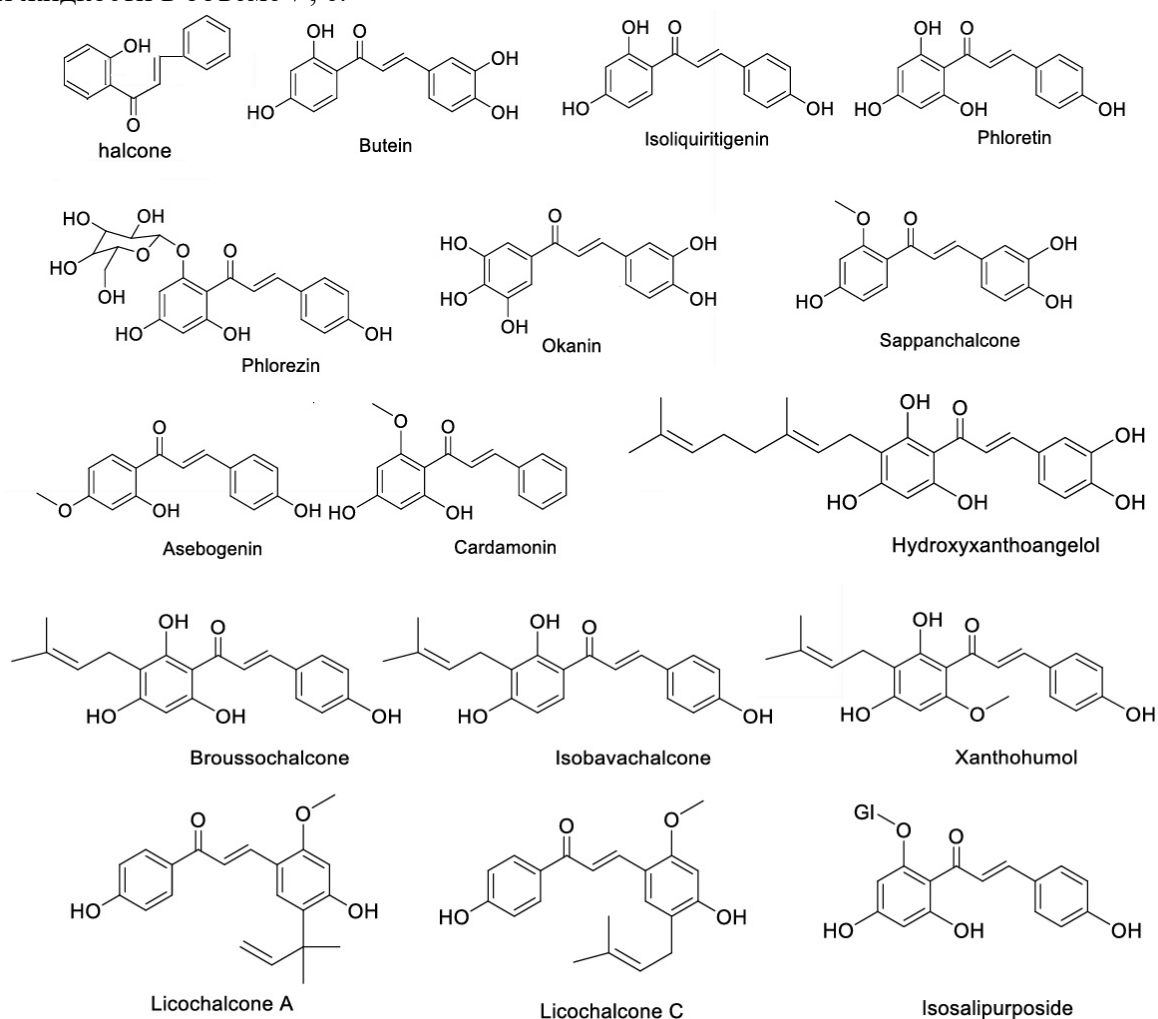


Рис. 3. Структура халкона и распространенных природных аналогов [2]

Fig. 3. Structure of chalcone and common natural analogues [2]

В растениях биосинтез указанных соединений происходит за счет гидроксикоричных кислот, образующих кольцо и пропановый фрагмент, и остатков малоновой или уксусной кислот при участии фермента с последующей конденсацией [20]. В рамках данной работы оценивалась возможность извлечения халконов экстракцией из сухого растительного сырья, в частности из цветков бессмертника песчаного (лат. *Xerochrysum*), коры ивы белой (лат. *Cortex Salix albae*) и

корня солодки голой (лат. *Glycyrrhiza*) с последующим выделением продукта из экстракта.

Схема извлечения халконов из растительного сырья представлена на рисунке 4. Независимо от способа экстрагирования основными стадиями процесса являются подготовка сырья (очистка и измельчение), добавление растворителя и непосредственно контакт твердой и жидкой фаз в аппарате.

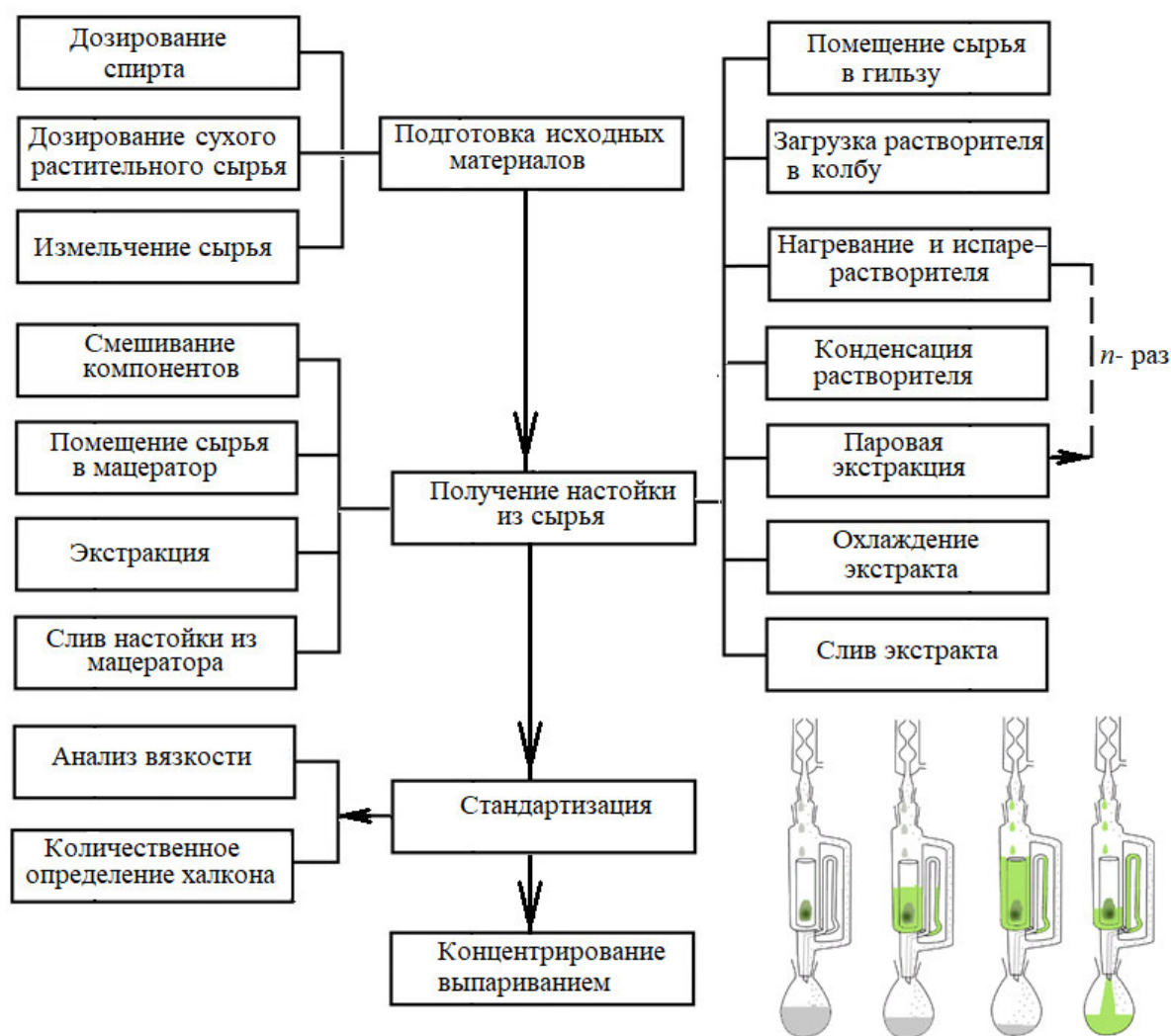


Рис. 4. Схема извлечения халконов из растительного сырья

Fig. 4. The scheme for extracting chalcones from plant raw materials

Важная роль подготовки сырья как отдельной операции обусловлена зависимостью скорости извлечения от структуры твердого сырья. И здесь важная роль

принадлежит влажности: повышенная влажность ухудшает смачивание материала растворителем и замедляет диффузию веществ изнутри частиц (табл. 5).

Таблица 5. Влияние влажности сырья на количество извлеченного халкона в пересчете на рутин (соотношения сырьё растворитель 1:10; спирт этиловый, 70%)

Table 5. The effect of raw material moisture on the amount of extracted chalcone in terms of rutin (raw material to solvent ratio 1:10; ethyl alcohol, 70%)

Сырьё	Содержание суммы халконов в пересчете на рутин, %, при влажности растительного сырья						
	6,6	8,2	11,5	15,5	18,2	22,5	25,0
Мацерация (время выдержки 72 часа), $t = (22 \pm 2)^\circ\text{C}$							
Корень солодки	0,62	0,58	0,54	0,50	0,38	—	—
Цветки бессмертника песчаного	—	—	1,44	1,40	1,32	0,24	—
Кора белой ивы	—	—	—	—	0,30	0,24	0,20
Экстракция в аппарате Сокслета (3 цикла); $t = (80 \pm 2)^\circ\text{C}$							
Корень солодки	1,70	1,56	1,50	—	—	—	—
Цветки бессмертника песчаного	—	—	2,62	2,40	2,12	2,10	—
Кора белой ивы	—	—	—	—	0,72	0,66	0,50

Влага ведет к набуханию белковых и гидрофильных частиц материала, что приводит к уменьшению пористости и слеживаемости материала [15]. Как следствие возникает сопротивление для попадания растворителя внутрь материала, снижается конвективная и молекулярная диффузия [21].

Как видно из таблицы 5, максимальное количество извлеченных из растительного сырья халконов приходится на массовую долю влаги в цветках бессмертника песчаного – 11,5%, коре ивы белой – 18,2%, в корне солодки голой – 6,6 %. Данная влажность соответствует норме на данный вид высушенного сырья в соответствии с фармакопейной статьей (ОФС.1.5.30007).

Что касается степени предварительного измельчения сырья, то она характеризуется наличием некоторого предела, превышать который нецелесообразно. На начальном этапе разрушение клеточной структуры приводит к ускорению процесса экстракции ввиду роста поверхно-

сти экстрагирования и скорости вымывания компонентов [22]. Для каждого конкретного случая требуется подбирать крупность измельчения для выбора соотношения между максимальной скоростью извлечения и минимальным суммарным внутренним и внешним диффузионным сопротивлением [23]. В качестве рекомендаций используют следующие размеры части сырья для извлечения, мм: листья, цветки – 3...5; кора, корни, стебли – 1...3; семена, плоды 0,3...0,5 [24].

В процессе работы оказалось, что чрезмерное увеличение дисперсности сырья нежелательно: мелкие частицы сырья легко распыляются при дозировании и вымываются вместе с растворителем при фильтровании. Кроме того, чрезмерное измельчение привело к образованию трудно очищаемых мутных жидкостей, что усложнило процесс разделения жидкой и твердой фазы. Последнее является следствием того, что из разрушенных клеток одновременно извлекается много балластных веществ и коллоидов [25].

Кинетически экстрагирование, т. е. скорость извлечения компонентов в процессе экстракции, подчиняется законам массообмена, конвективной и молекулярной диффузии, а также законам переноса извлекаемого вещества из твердой фазы в

жидкую. Установлено, что в выбранных условиях экстрагирование мацерацией протекает медленнее по сравнению с экстракцией в аппарате Сокслета, без перемешивания скорость экстрагирования ниже (табл. 6).

Таблица 6. Результаты количественного определения халкона (соотношения сырьё/растворитель 1:10; спирт этиловый, 70%)

Table 6. The results of quantitative determination of chalcone (raw material to solvent ratio 1:10; ethyl alcohol, 70%)

Способ экстракции	Содержание суммы халконов в пересчете на рутин за 1 сутки в условиях мацерации и 1 цикл в условиях аппарата Сокслета, %								
	солодка			бессмертник песчаный			белая ива		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Мацерация	0,3	0,4	0,6	0,9	1,3	1,4	0,08	0,2	0,3
Сокслет	1,2	1,5	1,7	1,9	2,3	2,6	0,5	0,6	0,7

В изученных условиях максимальное количество халконов удалось извлечь из цветков бессмертника песчаного в условиях непрерывной экстракции на аппарате

Сокслета, что подтвердилось для всех изученных в работе видов сырья (цветки, корень, кора) (табл. 7).

Таблица 7. Результаты определения динамической вязкости экстрактов (соотношения сырьё / растворитель 1:10; спирт этиловый, 70%; вязкость спирта 1,2 мПа·с; температура измерения (22±2)°C)

Таблица 7. The results of determining the dynamic viscosity of extracts (raw material to solvent ratio 1:10; ethyl alcohol, 70%; temperature of measurement (22±2)°C)

Сырьё	Способ экстракции	η, мПа · с
Корень солодки голой	Непрерывная экстракция на аппарате Сокслета	18,44
	мацерация	12,54
Цветки бессмертника песчаного	Непрерывная экстракция на аппарате Сокслета	70,62
	Мацерация	48,4
Кора ивы белой	Непрерывная экстракция на аппарате Сокслета	26,14
	Мацерация	23,19

Выявлено отличие в вязкости экстрактов (рис. 5), полученных при извлечении халконов из цветков бессмертника песчаного двумя методами, и увеличение этой величины с ростом температуры, что

на данном этапе можно связать с различием формы и размеров извлекаемых частиц, влияющих на вязкость, и (или) в результате образования аддуктов [1] и зависимостью этого процесса от температуры.

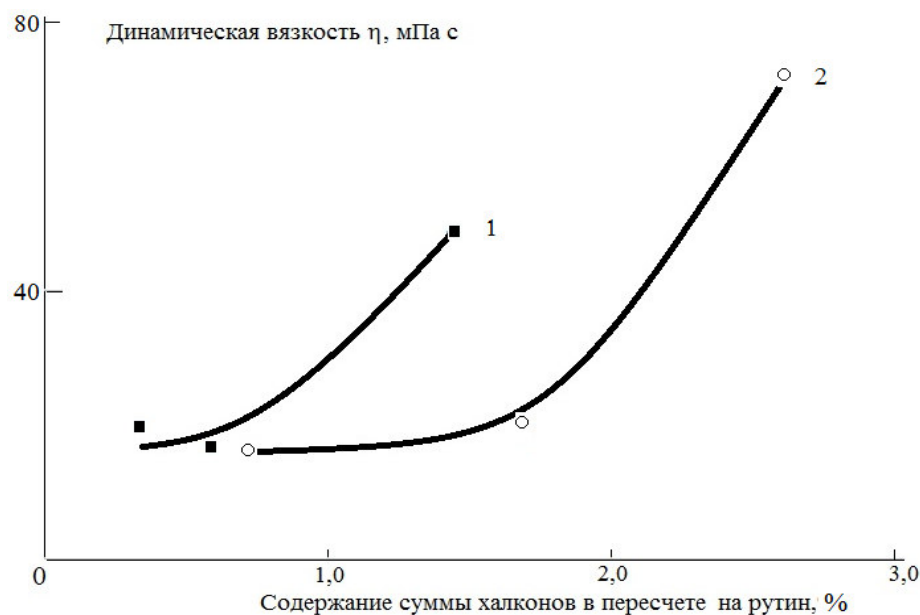


Рис. 5. Зависимость динамической вязкости экстрактов от количества извлеченных халконов мацерацией (1) и экстракцией в аппарате Сокслета (2)

Fig. 5. The dependence of the dynamic viscosity of extracts on the amount of extracted chalcones by maceration (1) and extraction in the Soxhlet apparatus (2)

В условиях мацерации пограничный диффузионный слой, прилегающий к поверхности частиц сырья, оказывает сопротивление дальнейшему переносу экстрагируемых веществ в экстрагент. Как результат коэффициент конвективной диффузии равен нулю без перемешивания, толщина слоя экстрагента, зависящая от

гидродинамических процессов [22], протекающих у поверхности, охватывает всю поверхность материала и остается постоянной [23]. К другим факторам, влияющим на процесс, можно отнести время контакта и соотношение сырье / растворитель (рис. 6).

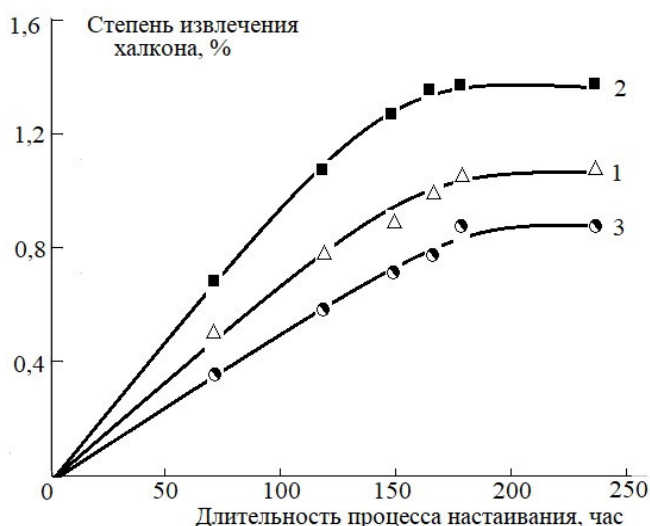


Рис. 6. Влияние соотношения сырьё / растворитель (1 – 1:7; 2 – 1:10; 3 – 1:15) на количество извлечённого халкона из цветков бессмертника (условия – мацерация, $t = 22 \pm 2^\circ\text{C}$; спирт этиловый, 40%)

Fig. 6. Effect of the raw material:solvent ratio on the amount of extracted chalcon from immortelle flowers (1 – 1:7; 2 – 1:10; 3 – 1:15) (conditions: maceration, $t = 22 \pm 2^\circ\text{C}$; ethyl alcohol, 40%)

Максимальное количество извлечённого халкона при использовании 40%-ного спирта наблюдается при соотношении массы цветков бессмертника к массе экстрагента 1:10, что объясняется оптимальным балансом факторов, влияющих на экстракцию, созданием достаточного градиента концентраций для эффективной начальной диффузии. Заявленный объем спирта предотвращает преждевременное насыщение раствора балластными веществами и обеспечивает наиболее полное извлечение целевых компонентов. Соот-

ношение 1:7 приводит к снижению выхода из-за быстрого насыщения и загущения экстракта, а при соотношении 1:15 движущая сила диффузии недостаточна для полного извлечения, несмотря на большой избыток «экстрагента».

Полученные экстракты были использованы для получения сухого комбинированного экстракта халкона, для чего полученную после экстракции смесь подвергли выпариванию на ротаторном испарителе с получением 4,5 г продукта темно-коричневого цвета (рис. 7).

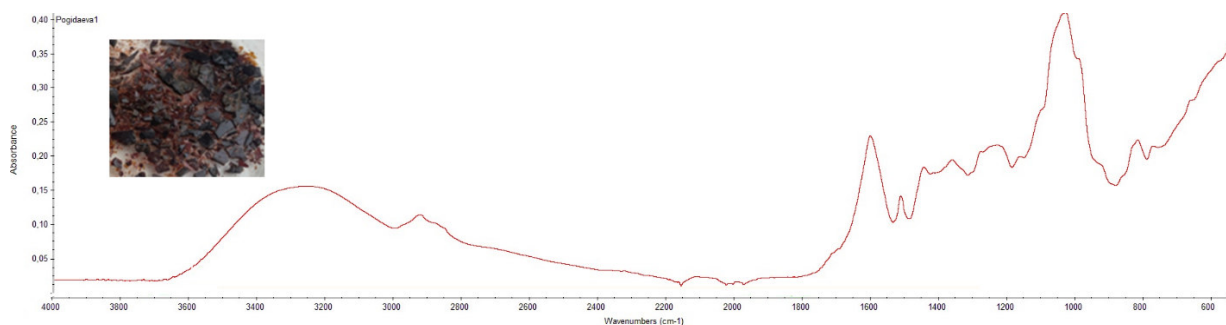


Рис. 7. ИК-спектр сухого комбинированного экстракта халкона (получен в Региональном центре нанотехнологий (ЮЗГУ); ИК-Фурье – спектрометр Nicolet iS50)

Fig. 7. IR spectrum of dry combined chalcone extract (received from the Regional Center for Nanotechnology (SWSU); IR Fourier spectrometer Nicolet iS50)

В полученном спектре сухого экстракта можно выделить характерные пики, присущие халконам: для фенильной группы (бензольного фрагмента) характерны четыре типа колебаний связей: валентные колебания С-Н наблюдаются между 3100 и 3000 см^{-1} ; внеплоскостные деформационные колебания связей С-Н в кольце проявляются в области 900... 675 см^{-1} (наиболее информативные полосы поглощения в ИК-спектре ароматических соединений); полосы плоскостных колебаний проявляются в области 1300... 1000 см^{-1} ; составные полосы деформационных колебаний С-Н проявляются в области 2000...1650 см^{-1} в виде малоинтенсивных полос поглощения; скелетные колебания, включая колебания С-С-цикла, поглощают в областях 1600...1585 и 1500...1400 см^{-1} .

Валентные колебания связи С=О альдегидов и кетонов характеризуются интенсивным поглощением в области

1870...1540 см^{-1} . Более тщательное изучение предполагается после выделения и очистки от сопутствующих соединений.

Выводы

В целом в ходе работы установлено, что и непрерывная экстракция в аппарате Сокслета, и мацерация в условиях отсутствия перемешивания пригодны для извлечения халконов из сухого растительного сырья различного происхождения (цветки, корень, кора). При этом максимальное количество халконов удалось извлечь из цветков бессмертника песчаного в условиях непрерывной экстракции на аппарате Сокслета.

Для всех изученных в работе видов сырья (цветки, корень, кора) непрерывная экстракция при температуре кипения растворителя оказалась более эффективным способом извлечения, а метод мацерации в представленном виде выявил ряд недо-

статков: длительность процесса; уменьшение объема настойки за счёт испарения экстрагента; набухание растительного материала с последующим уплотнением (или прессованием).

На примере извлечения халконов из цветков бессмертника песчаного установлено, что максимальный выход суммы флавоноидов наблюдается при соотношении сырьё / экстрагент 1:10.

Список литературы

1. A Shalaby M. A., Rizk S. A., Fahim A. M. Synthesis, reactions and application of chalcones: a systematic review // *Organic & Biomolecular Chemistry*. 2023. Vol. 21, No. 26. P. 5317-5346. <https://doi.org/10.1039/d3ob00792h>.
2. Попова С. А., Павлова Е. В., Чукичева И. Ю. Синтез замещенных халконов на основе 1,3-дигидрокси-4-изоборнилбензола // *Известия Академии наук. Серия химическая*. 2020. № 11. С. 2198–2204.
3. Синтез и спектральные характеристики производных халконов / С. Е. Синюткина, А. Г. Шубина, Р. А. Шубин, Е. Г. Лядская // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2010. Т. 16, № 4. С. 858-862.
4. Синюткина С. Е., Шубина А. Г. Взаимодействие халконов с ароматическими аминами // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. 2007. Т. 12, № 6. С. 661-662.
5. Быков Я. В., Пак В. Д., Яганова Н. Н. Селективность реакции халконов с производными анилина // *Бутлеровские сообщения*. 2015. Т. 42, № 4. С. 116-118.
6. Биологически активные природные 2'-гидроксихалконы / Г. О. Исмаилова, Н. М. Юлдашев, Х. Н. Акбарходжаева, М. М. Шертаев, З. К. Зиямутдинова // *Биоорганическая химия*. 2021. Т. 47, № 3. С. 304-314. <https://doi.org/10.31857/S0132342321030088>.
7. Синтез и противомикробная активность новых пиразольных производных на основе халконов / Д. С. Мартинкевич, Е. Ф. Чернявская, Т. И. Ахрамович, В. А. Тарасевич // *Журнал органической химии*. 2022. Т. 58, № 5. С. 516-525. <https://doi.org/10.31857/S0514749222050093>.
8. Preparation, reactions and medical applications of chalcone intermediate - a review / S. Hambizzao Chetan, S. Thorat Shubhangi, D. Dhaygude Vishwajit, R. Kane Sandeep // *Asian Journal of Pharmaceutical Research*. 2022. Vol. 12, no. 2. P. 171-175. <https://doi.org/10.52711/2231-5691.2022.00027>.
9. Лукашов Р. И., Гурина Н. С. Влияние ультразвуковой обработки эхинацеи пурпурной травы на выход гидроксикоричных кислот при экстракции // *Вестник фармации*. 2024. № 3(105). С. 13-20. <https://doi.org/10.52540/2074-9457.2024.3.13>.
10. Фитохимический анализ экстрактов ряда растений, произрастающих в России, с использованием глубоких эвтектических растворителей / Т. Н. Бочко, Н. А. Огренич, М. А. Малышко, А. Ю. Шишов // *Журнал аналитической химии*. 2025. Т. 80, № 11. С. 1141-1153. <https://doi.org/10.7868/S3034512X25110039>.
11. Магнитная твердофазная экстракция с диспергированием магнитного сверхсшитого полистирола углекислым газом для многокомпонентного выделения остатков 55 ветеринарных лекарственных веществ из речных вод перед их ВЭЖХ-МС/МС-определением / Н. О. Гончаров, В. В. Толмачева, А. О. Мелехин, М. А. Бирюкова, В. В. Аяри, С. Г. Дмитриенко // *Журнал аналитической химии*. 2025. Т. 80, № 4. С. 391-406. <https://doi.org/10.31857/S0044450225040041>.
12. A simple and mild Suzuki reaction protocol using triethylamine as base and solvent / X. Li, H. Zhang, Q. Hu, B. Jiang, V. Zel // *Synthetic Communications*. 2018. Vol. 48, no. 24. P. 3123-3132. <https://doi.org/10.1080/00397911.2018.1519075>.
13. Chrenko D., Pospíšil J. Latest developments of the Julia–Kocienski olefination reaction: mechanistic considerations // *Molecules*. 2024. Vol. 29, no. 12. P. 2719. <https://doi.org/10.3390/molecules29122719>.
14. Получение рабочего стандартного образца халкона бутеина и его количественное определение в растительном сырье / Е. О. Куличенко, Э. Т. Оганесян, А. Г. Курегян, М. В. Ларский,

А. П. Плетень // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2024. Т. 27, № 1. С. 23-30. <https://doi.org/10.29296/25877313-2024-01-03>.

15. Дубашинская Н. В., Хишова О. М., Шимко О. М. Некоторые особенности экстрагирования лекарственного растительного сырья. Часть 1 // Вестник фармации. 2006. № 4(34). С. 62-72.

16. Парадигма зеленой химии в современном органическом синтезе / С. Г. Злотин, К. С. Егорова, В. П. Анаников, А. А. Акулов, М. В. Вараксин, О. Н. Чупахин // Успехи химии. 2023. Т. 92, № 12. С. RCR5104. <https://doi.org/10.59761/RCR5104>.

17. Exploring natural chalcones: innovative extraction techniques, bioactivities, and health potential / M. K. Samota, D. K. Yadav, P. Koli, M. Kaur, H. Rani, S. S. Selvan // Sustainable Food Technology. 2024. Vol. 2, no. 5. P. 1456-1468. <https://doi.org/10.1039/d4fb00126e>.

18. Подбор параметров экстракции биоактивных веществ из лекарственных растений с применением молочной сыворотки / Н. С. Величкович, А. А. Степанова, О. В. Козлова, В. А. Люц, Т. А. Ларичев // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54, № 3. С. 633-644. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-3-2532>

19. Определение содержания экстрактивных веществ в растительном сырье любистока лекарственного, произрастающего в Архангельской области / Е. Д. Кубасова, Г. В. Корельская, А. Е. Суханов, И. А. Крылов, Р. В. Кубасов // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 11-2(113). С. 198-202. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.113.11.071>.

20. Синтез халконов и флавонов с изоборнильным заместителем и их антиоксидантная активность / С. А. Попова, М. В. Крылова, Е. В. Павлова, О. Г. Шевченко, И. Ю. Чукичева // Известия Академии наук. Серия химическая. 2024. Т. 73, № 6. С. 1775-1788.

21. Rakhimov T. U., Baysunov B. Kh., Yusupov I. Water-containing ability and adaptation features of leaves of some wood species in the conditions of industrial environment // Journal of Agriculture and Environment. 2019. No. 2(10). P. 9. <https://doi.org/10.23649/jae.2019.2.10.6>.

22. Лукашов Р. И. Влияние предварительной обработки на содержание флавоноидов при получении экстракционных лекарственных форм золотарника канадского травы // Традиционная медицина. 2025. № 2(78). С. 22-29. https://doi.org/10.54296/18186173_2025_2_22.

23. Совершенствование технологий выделения и очистки биологически активных веществ из растительного сырья / Г. Н. Турманидзе, В. В. Сорокин, К. С. Степанов, М. А. Игнатенко // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2023. Т. 12, № 4. С. 71-79. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-4-1585>.

24. Исследование процесса экстракции эфирных масел из хвои и коры сосны / Р. Г. Сафин, К. В. Валеев, Н. Ф. Тимербаев, В. И. Петров, К. Х. Гильфанов // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2025. Т. 29, № 4. С. 126-138. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2025-4-126-138>.

25. Охрименко О. В., Головлев Д. А., Рыжкова И. П. Исследование процесса экстракции сухих веществ из хвои сосны. Часть 1. Исследование влияния степени измельчения хвои сосны и экспозиции на интенсивность экстракции // Молочнохозяйственный вестник. 2011. № 2. С. 46-50.

References

1. A Shalaby M.A., Rizk S.A., Fahim A.M. Synthesis, reactions and application of chalcones: a systematic review. *Organic & Biomolecular Chemistry*. 2023;21(26):5317-5346. <https://doi.org/10.1039/d3ob00792h>.

2. Popova S.A., Pavlova E.V., Chukicheva I.Yu. Synthesis of substituted chalcones based on 1,3-dihydroxy-4-isobornylbenzene. *Izvestiya Akademii nauk. Seriya khimicheskaya = Russian Chemical Bulletin*. 2020;(11):2198-2204 (In Russ.)

3. Sinyutina S.E., Shubina A.G., Shubin R.A., Lyadskaya E.G. Synthesis and spectral characteristics of chalcon derivatives. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tambov State Technical University*. 2010;16(4):858-862. (In Russ.)

4. Sinyutina S.E., Shubina A.G. Interaction of chalcones with aromatic amines. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* = *Bulletin of Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences*. 2007;12(6):661-662. (In Russ.)
5. Bykov Ya.V., Pak V.D., Yaganova N.N. Selectivity of the reaction of chalcones with aniline derivatives. *Butlerovskie soobshcheniya* = *Butlerovskie posledie*. 2015;42(4):116-118. (In Russ.)
6. Ismailova G.O., Yuldashev N.M., Akbarkhodzhaeva Kh.N., Shertaev M.M., Ziyamutdinova Z.K. Biologically active natural 2'-hydroxychalcones. *Bioorganicheskaya khimiya* = *Bioorganic Chemistry*. 2021;47(3):304-314. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0132342321030088>.
7. Martinkevich D.S., Chernyavskaya E.F., Akhramovich T.I., Tarasevich V.A. Synthesis and antimicrobial activity of new pyrazole derivatives based on chalcones. *Zhurnal organicheskoi khimii* = *Journal of Organic Chemistry*. 2022;58(5):516-525. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0514749222050093>.
8. Hambizzao Chetan S., Thorat Shubhangi S., Dhaygude Vishwajit D., Sandeep R. Kane. Preparation, reactions and medical applications of chalcone intermediate - a review. *Asian Journal of Pharmaceutical Research*. 2022;12(2):171-175. <https://doi.org/10.52711/2231-5691.2022.00027>.
9. Lukashov R.I., Gurina N.S. The effect of ultrasound treatment of echinacea purpurea on the yield of hydroxycinnamic acids during extraction. *Vestnik farmatsii* = *Bulletin of Pharmacy*. 2024;3(105):13-20. (In Russ.) <https://doi.org/10.52540/2074-9457.2024.3.13>.
10. Bochko T.N., Ogrenich N.A., Malyshko M.A., Shishov A.Yu. Phytochemical analysis of extracts of a number of plants growing in Russia using deep eutectic solvents. *Zhurnal analiticheskoi khimii* = *Journal of Analytical Chemistry*. 2025;80(11):1141-1153. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034512X25110039>.
11. Goncharov N.O., Tolmacheva V.V., Melekhin A.O., Biryukova M.A., Aiyari V.V., Dmitrienko S.G. Magnetic solid-phase extraction with dispersion of a magnetic super-crosslinked polymer with carbon dioxide for multicomponent isolation of 55 veterinary medicinal substances residues from river waters before their HPLC-MS/MS-determination. *Zhurnal analiticheskoi khimii* = *Journal of Analytical Chemistry*. 2025;80(4):391-406. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0044450225040041>.
12. Li X., Zhang H., Hu Q., Jiang B., Zel V. A simple and mild Suzuki reaction protocol using triethylamine as base and solvent. *Synthetic Communications*. 2018;48(24):3123-3132. <https://doi.org/10.1080/00397911.2018.1519075>.
13. Chrenko D., Pospíšil J. Latest developments of the Julia–Kocienski olefination reaction: mechanistic considerations. *Molecules*. 2024;29(12):2719. <https://doi.org/10.3390/molecules29122719>.
14. Kulichenko E.O., Oganessian E.T., Kuregyan A.G., Larskii M.V., Pleten' A.P. Obtaining a working standard sample of halcon-butein and its quantitative determination in plant raw materials. *Voprosy biologicheskoi, meditsinskoi i farmatsevticheskoi khimii* = *Issues of biological, medical and pharmaceutical chemistry*. 2024;27(1):23-30. (In Russ.) <https://doi.org/10.29296/25877313-2024-01-03>.
15. Dubashinskaya N.V., Khishova O.M., Shimko O.M. Some features of extraction of medicinal plant raw materials. Part 1. *Vestnik farmatsii* = *Bulletin of Pharmacy*. 2006;4(34):62-72. (In Russ.)
16. Zlotin S.G., Egorova K.S., Ananikov V.P., Akulov A.A., Varaksin M.V., Chupakhin O.N. The paradigm of green chemistry in modern organic synthesis. *Uspekhi khimii* = *Russian Chemical Reviews*. 2023;92(12):RCR5104. (In Russ.) <https://doi.org/10.59761/RCR5104>.
17. Samota M.K., Yadav D.K., Koli P., Kaur M., Rani H., Selvan S.S. Exploring natural chalcones: innovative extraction techniques, bioactivities, and health potential. *Sustainable Food Technology*. 2024;2(5):1456-1468. (In Russ.) <https://doi.org/10.1039/d4fb00126e>.
18. Velichkovich N.S., Stepanova A.A., Kozlova O.V., Lyuts V.A., Larichev T.A. Selection of parameters for the extraction of bioactive substances from medicinal plants using whey. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* = *Machinery and technology of food production*. 2024;54(3):633-644. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-3-2532>.
19. Kubasova E.D., Korel'skaya G.V., Sukhanov A.E., Krylov I.A., Kubasov R.V. Determination of the content of extractive substances in the plant raw materials of medicinal stem lovage growing in the Arkhangelsk region. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* = *International Research Journal*. 2021;11-2(113):198-202. (In Russ.) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.113.11.071>.

20. Popova S.A., Krylova M.V., Pavlova E.V., Shevchenko O.G., Chukicheva I.Yu. Synthesis of chalcones and flavones with an isobornyl substituent and their antioxidant activity. *Izvestiya Akademii nauk. Seriya khimicheskaya = Proceedings of the Academy of Sciences. Chemical series*. 2024;73(6):1775-1788. (In Russ.)
21. Rakhimov T.U., Baysunov B.Kh., Yusupov I. Water-containing ability and adaptation features of leaves of some wood species in the conditions of industrial environment. *Journal of Agriculture and Environment*. 2019;2(10):9. (In Russ.) <https://doi.org/10.23649/jae.2019.2.10.6>.
22. Lukashov R.I. The effect of pretreatment on the content of flavonoids in the production of extractable dosage forms of goldenrod of the Canadian herb. *Traditsionnaya meditsina = Traditional medicine*. 2025;2(78):22-29. (In Russ.) https://doi.org/10.54296/18186173_2025_2_22.
23. Turmanidze G.N., Sorokin V.V., Stepanov K.S., Ignatenko M.A. Improvement of technologies for isolation and purification of biologically active substances from plant raw materials. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv = Development and registration of medicines*. 2023;12(4):71-79. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-4-1585>.
24. Safin R.G., Valeev K.V., Timerbaev N.F., Petrov V.I., Gil'fanov K.Kh. Investigation of the extraction of essential oils from pine needles and bark. *Lesnoi vestnik. Forestry Bulletin = Lesnoy vestnik. Forestry Bulletin*. 2025;29(4):126-138. (In Russ.) <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2025-4-126-138>.
25. Okhrimenko O.V., Golovlev D.A., Ryzhkova I.P. Investigation of the extraction process of dry substances from pine needles. Part 1. Investigation of the effect of the degree of pine needles crushing and exposure on the extraction intensity. *Molochnokhozyaistvennyi vestnik = Moflax breeding bulletin*. 2011;(2):46-50. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the Authors

Пашина Анна Станиславовна, магистрант кафедры фундаментальной химии и химической технологии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: pashuna.nyura@inbox.ru

Anna S. Pashina, Undergraduate of the Department of Fundamental Chemistry and Chemical Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: pashuna.nyura@inbox.ru

Янкив Карине Феликсовна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры экологии и природоохранной деятельности, Российский государственный социальный университет, г. Москва, Российская Федерация,
e-mail: kari1508@mail.ru,
ORCID: 0000-0002-6756-8130

Karine F. Yankiv, Candidate of Sciences (Pedagogical), Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection, Russian State Social University, Moscow, Russian Federation,
e-mail: kari1508@mail.ru,
ORCID: 0000-0002-6756-8130

Романенко Сергей Андреевич, студент кафедры фундаментальной химии и химической технологии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: midubox232@gmail.com

Sergey A. Romanenko, Student of the Department of Fundamental Chemistry and Chemical Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: midubox232@gmail.com

Пожидаева Светлана Дмитриевна, кандидат химических наук, доцент кафедры фундаментальной химии и химической технологии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: pozhidaeva_kursk@mail.ru,
ORCID: 0000-0002-5690-1102

Svetlana D. Pozhidaeva, Candidate of Sciences (Chemical), Associate Professor of the Department of Fundamental Chemistry and Chemical Technology, Southwest State University, Russian Federation,
e-mail: pozhidaeva_kursk@mail.ru,
ORCID: 0000-0002-5690-1102