

# ФАКТОРЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСТРАКЦИИ ГИДРОКСИКОРИЧНЫХ КИСЛОТ ИЗ ОДУВАНЧИКА ЛЕКАРСТВЕННОГО КОРНЕЙ

**Р.И. Лукашов, Н.С. Гурина**

Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет» (Минск, Республика Беларусь)

**Для цитирования:** Лукашов Р.И., Гурина Н.С. **Факторы повышения экстракции гидроксикоричных кислот из одуванчика лекарственного корней.** *Аспирантский вестник Поволжья.* 2024;24(2):86-92.  
DOI: <https://doi.org/10.35693/AVP636701>

## ▪ Сведения об авторах

Лукашов Р.И. – канд. фарм. наук, доцент, заведующий кафедрой фармацевтической химии с курсом повышения квалификации и переподготовки.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5234-6319> E-mail: [r\\_lukashov@mail.ru](mailto:r_lukashov@mail.ru)

Гурина Н.С. – д-р биол. наук, профессор, декан фармацевтического факультета.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9150-5728>

## ▪ Аннотация

**Цель** – изучение влияния факторов экстракции на извлечение гидроксикоричных кислот (ГКК) из одуванчика лекарственного корней.

**Материал и методы.** Объектом исследования являлись воздушно-сухие одуванчика лекарственного корня. Содержание ГКК определяли с использованием реактива Арнова спектрофотометрическим методом по фармакопейной методике. Устанавливали влияние природы, объемной доли органических растворителей, состава экстракционных смесей, температуры, длительности, кратности экстракции, соотношения сырья и экстрагента, размера частиц сырья на выход ГКК из одуванчика лекарственного корней при экстракции. В качестве экстрагентов использованы метанол, этанол, пропанол-1, пропанол-2, ацетон, ацетонитрил, диметилсульфоксид, пропиленгликоль-1,2, этиленгликоль, глицерин и их водные растворы в объемных долях 20, 40, 60 и 80%. Выполнили дисперсионный анализ влияния этих факторов на выход ГКК при экстракции.

**Результаты.** Экспериментально разработаны условия экстракции, обеспечивающие максимальный выход ГКК по сравнению с фармакопейными и литературными способами. Условия включают: экстрагент – 60% пропанол-1 или смесь из 50% пропанола-1 и 10% ацетона; температуру экстракции – 80 °С; длительность экстракции – 6 ч; соотношение сырья и экстрагента – 1 к 25; кратность экстракции – однократная и размер частиц сырья – 500 мкм и менее. Доказано, что физико-химические характеристики экстрагентов, их объемные доли в растворах и параметры экстракции статистически значимо влияют на выход ГКК.

**Выводы.** Доказано статистически значимое влияние изучаемых факторов экстракции на выход ГКК из одуванчика лекарственного корней. Разработанный способ экстракции статистически значимо в среднем от 30% до 2,5 раза повышает выход ГКК в сравнении с фармакопейными и литературными методиками экстракции.

- **Ключевые слова:** одуванчик лекарственный, корни, гидроксикоричные кислоты, условия экстракции, органические экстрагенты.
- **Конфликт интересов:** не заявлен.

## ▪ Список сокращений

БАВ – биологически активные вещества; ГКК – гидроксикоричные кислоты; ЛРС – лекарственное растительное сырье; ГФ РБ – Государственная фармакопея Республики Беларусь; ЕФ – Европейская фармакопея; ДМСО – диметилсульфоксид.

Получено: 04.10.2022

Одобрено: 16.10.2024

Опубликовано: 02.11.2024

# FACTORS INCREASING THE HYDROXYCINNAMIC ACIDS EXTRACTION FROM DANDELION ROOTS

**Raman I. Lukashou, Natalya S. Gurina**

Belarusian State Medical University (Minsk, Republic of Belarus)

**Citation:** Lukashou RI, Gurina NS. **Factors increasing the hydroxycinnamic acids extraction from dandelion roots.** *Aspirantskiy vestnik Povolzhya.* 2024;24(2):86-92.  
DOI: <https://doi.org/10.35693/AVP636701>

## ▪ Information about the authors

Raman I. Lukashou – PhD, Associate professor, Head of the Pharmaceutical Chemistry Department of with Advanced Training and Retraining Course.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5234-6319> E-mail: [r\\_lukashov@mail.ru](mailto:r_lukashov@mail.ru)

Natalya S. Gurina – PhD, Professor, Dean of the Pharmaceutical Faculty.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9150-5728>

## ■ Abstract

**Aim** – to study the influence of extraction factors on the extraction of hydroxycinnamic acids (HCAs) from dandelion roots.

**Material and methods.** The object of the study was air-dried dandelion roots. The HCAs content was determined using Arnov's reagent by spectrophotometric method according to the pharmacopoeic method. The influence of the nature, volume fraction of organic solvents, composition of extraction mixtures, temperature, duration, extraction frequency, medicinal plant raw material and extractant ratio, and medicinal plant raw material particle size on the HCAs yield from dandelion roots during extraction was established. Methanol, ethanol, propanol-1, propanol-2, acetone, acetonitrile, dimethyl sulfoxide, propylene glycol-1,2, ethylene glycol, glycerol and their aqueous solutions in volume fractions of 20, 40, 60 and 80% were used as extractants. A dispersion analysis of the influence of these factors on the yield of HCAs during extraction was performed. Results. Extraction conditions providing the maximum yield of HCAs in comparison with pharmacopoeial and literary methods were experimentally developed. The conditions are as follows: extractant – 60% propanol-1 or a mixture of 50% propanol-1 and 10% acetone; extraction temperature – 80 °C; extraction duration – 6 hours; medicinal plant raw material and extractant ratio – 1 to 25; extraction frequency – single and medicinal plant raw material particle size – 500 µm or less. It has been proven that the physicochemical characteristics of the extractants, their volume fractions in solutions and extraction parameters have a statistically significant effect on the yield of HCAs.

**Conclusions.** A statistically significant effect of the studied extraction factors on the yield of HCAs from dandelion roots has been proven. The developed extraction method statistically significantly increases the yield of HCAs by an average of 30% to 2.5 times in comparison with pharmacopoeial and literary extraction methods.

■ **Keywords:** dandelion officinalis, roots, hydroxycinnamic acids, extraction conditions, organic extractants.

■ **Conflict of interest:** *nothing to disclose.*

Received: 04.10.2024

Accepted: 16.10.2024

Published: 02.11.2024

## ВВЕДЕНИЕ

Разработка ресурсосберегающих технологий использования лекарственного растительного сырья (ЛРС) и лекарственных препаратов на его основе остается актуальным направлением научных исследований в фармакогнозии [1]. С целью получения экстракционных лекарственных препаратов на сегодняшний момент используют различные методы экстрагирования, конечной целью которых является повышение выхода биологически активных веществ (БАВ) из ЛРС в экстрагент [2]. При этом для повышения эффективности экстракции целесообразно подобрать оптимальные ее параметры, обеспечивающие максимальный выход БАВ [3]. Особенно важно это для ЛРС с невысоким содержанием БАВ. К такому ЛРС можно отнести одуванчика лекарственного корни, в которых, согласно Государственной фармакопее Республики Беларусь (ГФ РБ), нормируется достаточное невысокое (не менее 0,3%) содержание гидроксикоричных кислот (ГКК) [4].

Содержание флавоноидов и фенольных кислот в корнях одуванчика зависит от года заготовки и составляет от 2,7 до 5,1% и от 0,5 до 0,9% соответственно [5]. Содержание фенольных соединений и фенольных кислот колеблется в зависимости от месяца заготовки: 0,3–0,5% и 0,2–0,5% соответственно [6].

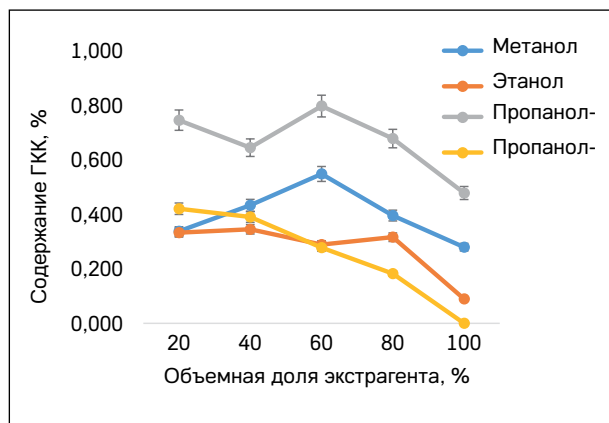
При экстракции БАВ из корней 80% метанолом с последующим выпариванием при 40 °C в роторном аппарате и обработкой гексаном, этилацетатом, диэтиловым эфиром, бутанолом-1 и водой наибольшее количество фенольных соединений (21,1%) определено в этилацетатной фракции, которая содержит катехол (41,7 мг%), сиреневую (12,1 мг%), ванильную (7,7 мг%), кофейную (49,7 мг%), феруловую (40,1 мг%) и п-кумаровую (156,2 мг%) кислоты. Доминирующей фенольной кислотой является п-кумаровая кислота. В сравнительном плане этилацетатная фракция поглощает наибольшее число свободных радикалов: 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил (DPPH) (67,1%), 2,2'-азинобис (3-этилбензтиазолино-6-сульфоновая кислота) (ABTS) (92,6%), супероксидный (23,5%) и гидроксильный (82,1%)

радикалы и на 22,0% ингибирует перекисное окисление липидов [7].

Метанольное извлечение из корней получают в течение 3 ч при перемешивании при соотношении сырья и экстрагента 1 к 10 с последующей отгонкой растворителя при 40 °C в роторном аппарате и обрабатывают сухой остаток этилацетатом, гексаном, дихлорметаном и водой. Этилацетатная фракция содержит наибольшее количество фенольных соединений (228,7 мг/г), проявляет наибольшую способность поглощать радикалы DPPH (227,8 мг/г) и показывает значительные восстанавливающие свойства в отношении железа (III) (463,1 мг/г). Фракция содержит сиреневую (2,2 мг/г), кофейную (3,9 мг/г), ванильную (1,7 мг/г) и хлорогеновую (31,9 мг/г) кислоты, апигенин-7-глюкозид, лютеолин-7-глюкозид и нарингенин-7-глюкозид. Содержание индивидуальных флавоноидов менее 1 мг/г. Общее содержание фенольных соединений составляет 42,2 мг/г [8].

Метанольное извлечение из корней получают при комнатной температуре в течение одного часа при соотношении сырья и экстрагента 1 к 30, затем упаривают в роторном аппарате при 40 °C. Настой получают путем заливания корней кипящей водой и последующего настаивания при комнатной температуре в течение 5 мин, отвар – путем экстракции в кипящей воде в течение 5 мин. При этом настои и отвары в большей степени содержат цикориевую (5,95 мг/г), кофейную (0,55 мг/г) кислоты, лютеолин-7-глюкозид (4,26 мг/г), метанольное извлечение – лютеолин-7-рутозид (4,06 мг/г), лютеолин-7-гексозид (11,06 мг/г), лютеолин (4,26 мг/г). Метанольное и водные извлечения содержат приблизительно одинаковое количество 3,5- и 4,5-ди-О-кофеиллинных кислот (около 1,2 и 0,2 мг/г соответственно) и лютеолин-7-ацетилгексозида (примерно 0,2 мг/г). Значительный процент поглощения радикалов DPPH отмечен для метанольного извлечения и составляет 28,9% [9].

В извлечениях из корней, полученных при экстракции в течение 3 ч 50% метанолом на кипящей водяной бане, определено от 0,3 до 0,6 мг/г фенольных кислот



**Рисунок 1.** Зависимость содержания ГКК от объемных долей одноатомных спиртов.

**Figure 1.** Dependence of the HCAs content on the volume fractions of monohydric alcohols.

(*p*-гидроксibenзойная, хлорогеновая (72,7–173,2 мкг/г), кофейная и цикориевая (29,6–86,3 мкг/г) кислоты).

Таким образом, разные растворители, используемые для экстракции ГКК из одуванчика, извлекают разное количество этих БАВ, также на содержание БАВ влияют другие параметры экстракции, что актуализирует систематизацию данных по экстрагирующим свойствам в отношении ГКК разных по химической природе экстрагентов с последующей подборкой оптимальных параметров экстракции.

## ЦЕЛЬ

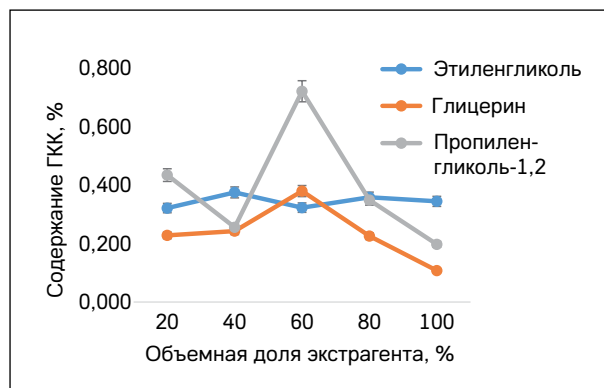
Изучение влияния факторов экстракции на извлечение ГКК из одуванчика лекарственного корней.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования служили промышленные серии одуванчика лекарственного корней производства ООО «НПК Биотест», корни, заготовленные от дикорастущих форм в фазу отмирания надземной части в сентябре–октябре в окрестностях д. Новое поле, пр-та Дзержинского г. Минска и г. Калинковичи в 2020, 2021 и 2022 гг. и высушенные воздушно-теньевым способом.

На первом этапе для изучения экстрагирующей способности в отношении ГКК выбраны следующие экстрагенты (все ч.д.а., ОДО «Химхром»): одноатомные спирты: метанол, этанол, пропанол-1, пропанол-2; дву- и многоатомные спирты: этиленгликоль, глицерин, пропиленгликоль-1,2; кетон ацетон, нитрил ацетонитрил и сульфоксид диметилсульфоксид (ДМСО) и их водные растворы с объемной долей 20, 40, 60 и 80%, а также вода очищенная, бутанол-1, бутанол-2 и этилацетат. Данные экстрагенты отличались по полярности, вязкости, летучести, химическому строению и способности к отрыву протона [10].

Затем уточняли объемную долю экстрагента с наилучшей извлекающей способностью с шагом в 10%. Исследовали также экстрагирующую способность трехкомпонентных смесей, состоящих из двух органических растворителей и воды. Принцип выбора смеси включал комбинирование в разных объемных соотношениях



**Рисунок 2.** Зависимость содержания ГКК от объемных долей многоатомных спиртов.

**Figure 2.** Dependence of the HCAs content on the volume fractions of polyhydric alcohols.

растворителей с наибольшей экстрагирующей способностью и резко отличающейся летучестью. В случае, если наибольшей экстрагирующей способностью обладал летучий растворитель в составе водно-органического раствора, его долю уменьшали, вытесняя менее летучим растворителем.

Количественное спектрофотометрическое определение суммы ГКК в пересчете на хлорогеновую кислоту проводили по методике частной фармакопейной статьи «Одуванчика лекарственного корни» 07/2016:1852 из ГФ РБ, том 2 [4] на спектрофотометре Solar PB 2201 (ЗАО «Солар», Республика Беларусь).

Статистическую обработку проводили при помощи компьютерной программы Microsoft Office Excel 2016 (пакет «Анализ данных»). Каждое испытание выполняли три раза ( $n = 3$ ;  $P = 0,95$ ). Результаты представляли в виде  $\pm$ , где – среднее значение выборки; – полуширина доверительного интервала средней величины. Сравнение двух групп значений проводили при помощи *t*-критерия Стьюдента. Влияние параметров экстракции на выход БАВ оценивали при помощи дисперсионного анализа. Значения статистически значимо различались при  $p < 0,05$  [11].

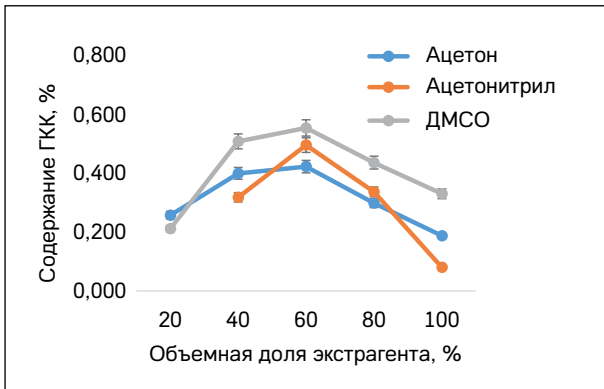
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунках 1, 2 и 3 представлены зависимости содержания ГКК от природы и объемной доли экстрагентов.

При экстракции метанолом и пропанолом-2 формировались по одному максимуму экстракции при объемной доле 60% ( $p = 0,0014$ ) и 20% ( $p = 0,039$ ) соответственно, с увеличением объемной доли пропанола-2 содержание ГКК снижалось ( $R^2 = -0,9716$ ). Экстракция пропанолом-1 и этанолом приводила к формированию двух максимумов при объемных долях 20% и 60% (6,9% (отн.),  $p = 0,20$ ) и 40% (9,2% (отн.),  $p = 0,39$ ) и 80% соответственно (рисунки 1).

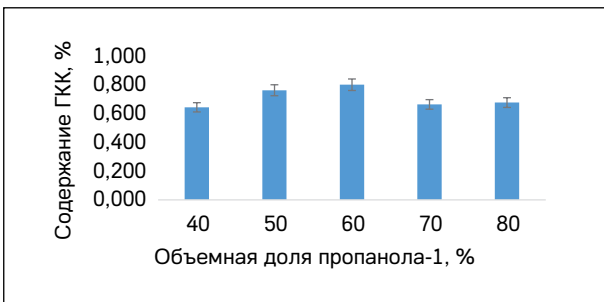
Экстракция глицерином и пропиленгликолем-1,2 формировала по одному максимуму при 60% ( $p = 0,00035$  и  $0,0029$ ) соответственно. Содержание ГКК не зависело от объемной доли глицерина ( $R^2 = 0,1694$ ) (рисунки 2).

При экстракции ацетоном и ДМСО наблюдали плато максимальной экстракции при 40% и 60% ( $p = 0,41$  и  $0,57$ ) соответственно, при этом при объемной доле 60% отмечены статистически значимое увеличение экстракции ( $p =$



**Рисунок 3.** Зависимость содержания ГКК от объемных долей прочих экстрагентов.

**Figure 3.** Dependence of the HCAs content from volume fractions of other extractants.



**Рисунок 4.** Уточнение объемной доли пропанола-1.

**Figure 4.** Clarification of the volume fraction of propanol-1.

0,015 и 0,026) соответственно. Экстракция ацетонитрилом формировала максимум при 60% ( $p = 0,037$ ) (рисунок 3).

При экстракции бутанолом-1, бутанолом-2 и этилацетатом ГКК не обнаружены, вода извлекала  $2,0 \pm 0,38\%$  ГКК.

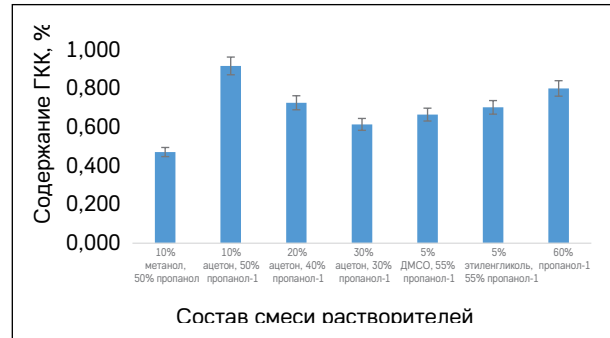
При экстракции 100% растворителями извлекающая способность в отношении ГКК минимальна по сравнению с водно-органическими растворами, которые извлекали ГКК больше в 1,6–3,9 раза. Экстрагирующая способность изучаемых в работе абсолютных растворителей

#### Таблица 1 / Table 1

**Результаты оценки статистической значимости различий по t-тесту между максимумами экстракции суммы ГКК для различных объемных долей экстрагентов**

**Results of the differences statistical significance assessment by the t-test between the maximum extraction of the HCAs sum for different volume fractions of extractants**

	60% метанол	40% этанол	60% пропанол-1	20% пропанол-2	60% ацетон	60% ацетонитрил	60% ДМСО	40% этиленгликоль	60% пропиленгликоль-1,2	60% глицерин
60% метанол	-	0,0057	0,00084	0,0016	0,0017	0,0033	0,26	0,0087	0,019	0,0039
40% этанол	0,0057	-	0,00037	0,0066	0,029	0,018	0,011	0,25	0,00038	0,48
60% пропанол-1	0,00084	0,00037	-	0,0033	0,0028	0,0084	0,0031	0,00017	0,038	0,0023
20% пропанол-2	0,0016	0,0066	0,0033	-	0,18	0,048	0,035	0,026	0,0016	0,25
60% ацетон	0,0017	0,029	0,0028	0,18	-	0,36	0,022	0,026	0,017	0,022
60% ацетонитрил	0,0033	0,018	0,0084	0,048	0,36	-	0,052	0,021	0,0083	0,029
60% ДМСО	0,26	0,011	0,0031	0,035	0,022	0,052	-	0,0044	0,0021	0,0049
40% этиленгликоль	0,0087	0,25	0,00017	0,026	0,026	0,021	0,0044	-	0,0022	0,14
60% пропиленгликоль-1,2	0,019	0,00038	0,038	0,0016	0,017	0,0083	0,0021	0,0022	-	0,0058
60% глицерин	0,0039	0,48	0,00023	0,25	0,022	0,022	0,0049	0,14	0,0058	-



**Рисунок 5.** Зависимость содержания ГКК от соотношения долей растворителей в смеси экстрагентов при постоянной 40% объемной доле воды.

**Figure 5.** Dependence of the HCAs content on the ratio of solvent shares in the extractant mixture at a constant 40% volume fraction of water.

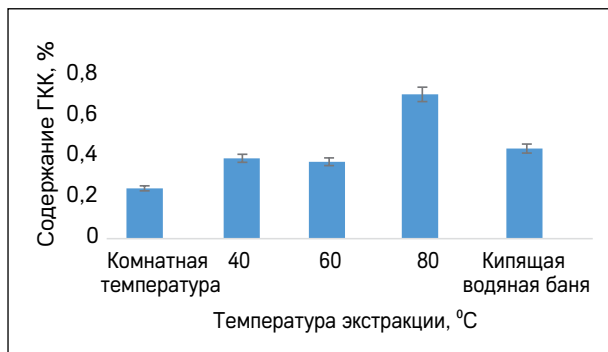


**Рисунок 6.** Зависимость содержания ГКК от длительности экстракции.

**Figure 6.** Dependence of the HCAs content on the duration of extraction.

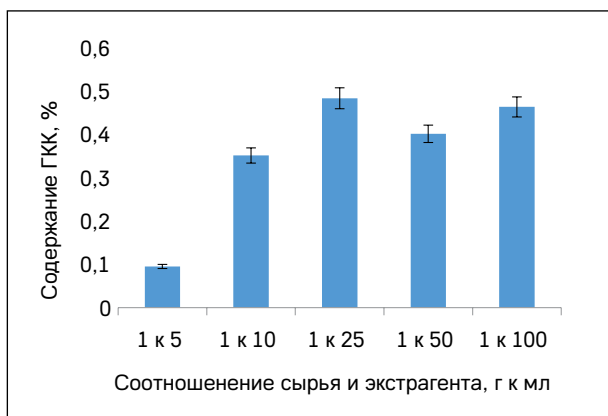
уменьшалась в ряду: пропанол-1 > этиленгликоль > ДМСО > метанол > вода > пропиленгликоль-1,2 > ацетон > глицерин > этанол > ацетонитрил > пропанол-2.

Для оценки статистической значимости различий между максимумами экстракции ГКК из одуванчика лекарственного корней для различных объемных долей экстрагентов провели t-тест, результаты которого приведены в таблице 1.



**Рисунок 7.** Зависимость содержания ГКК от температуры экстракции.

**Figure 7.** Dependence of the HCAs content on the extraction temperature.



**Рисунок 8.** Зависимость содержания ГКК от соотношения сырья и экстрагента.

**Figure 8.** Dependence of the HCAs content on the ratio of medicinal plant raw materials and extractant.

Статистически значимое максимальное извлечение ГКК происходило 60% пропанолом-1 (таблица 1), для которого уточнена объемная доля, обеспечивающая наибольшее извлечение ГКК (рисунок 4).

В указанных выше литературных источниках [5–9] для экстракции ГКК из одуванчика используют водные растворы метанола, которые по экстрагирующей способности значительно уступают водным растворам пропанола-1.

Учитывая высокую экстрагирующую способность пропанола-1 в отношении ГКК одуванчика и летучесть, сопоставимую с водой, изучили влияние на экстракцию

ГКК из одуванчика трехкомпонентных смесей, состоящих из воды, пропанола-1 и более летучих (метанол, ацетон) и менее летучих (этиленгликоль, ДМСО) растворителей (рисунок 5).

Изучение трехкомпонентных смесей показало, что экстрагирующая способность смеси при соотношении ацетона/пропанола-1 10/50 на 14,5% (отн.) ( $p = 0,25$ ) больше, чем 60% пропанола-1.

В фармакопейной методике [4] определения ГКК в одуванчика лекарственного корнях в качестве экстрагента используется вода, которая извлекает данные вещества в 4,5 раза хуже, чем предложенная смесь растворителей.

При помощи дисперсионного анализа оценили влияние природы и объемной доли исследуемых экстрагентов на содержание ГКК (таблица 2).

Диэлектрическая проницаемость, динамическая вязкость, температура кипения и объемные доли изучаемых экстрагентов в растворах статистически значимо ( $p < 0,05$ ) влияли на выход ГКК при экстракции. Наибольшее влияние на экстракцию оказывала объемная доля пропанола-1 (таблица 2).

Пропанол-1 с диэлектрической проницаемостью, близкой к ацетону, но в шесть раз более вязкий и в 1,7 раза менее летучий, извлекал в 2,5 раза меньше суммы ГКК, чем ацетон. Пропанол-1 с диэлектрической проницаемостью и вязкостью, близкими к пропанолу-2, но в 1,2 раза менее летучий, извлекал в 4,5 раза больше суммы ГКК, чем пропанол-2.

На рисунках 6–10 представлены зависимости содержания ГКК от длительности, температуры экстракции, соотношения сырья и экстрагента, кратности экстракции размера частиц сырья соответственно.

От получения экстракции до полутора часов произошло снижение содержания ГКК на 39,5% (отн.) ( $p = 0,031$ ) с минимумом на 1,5 ч, затем наблюдали плавное увеличение содержания ГКК к 6 ч на 64,8% (отн.) ( $p = 0,012$ ). При этом содержание ГКК на 6 ч больше на 57,3% (отн.) ( $p = 0,015$ ), чем на 3 ч (рисунок 7).

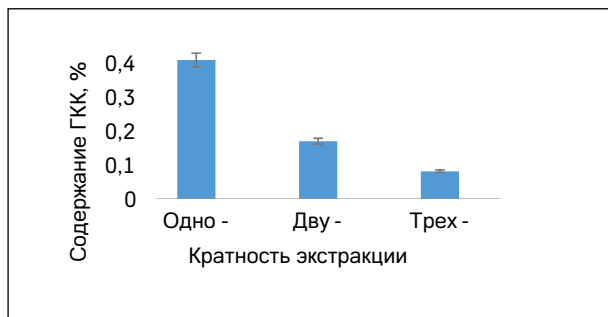
Максимум температурной экстракции приходился на 80°C, что на 60,1% (отн.) ( $p = 0,010$ ) больше, чем на кипящей водяной бане; минимум – на комнатную температуру, при которой содержание на 59,7% (отн.) меньше, чем при 40°C.

Максимальный выход ГКК наблюдали при соотношении сырья и экстрагента – 1 к 25 и 1 к 100 ( $p = 0,39$ ) – при 1 к 25 экономия экстрагента в 4 раза (рисунок 8); кратности экстракции – однократная (рисунок 9) и размере частиц

Таблица 2 / Table 2

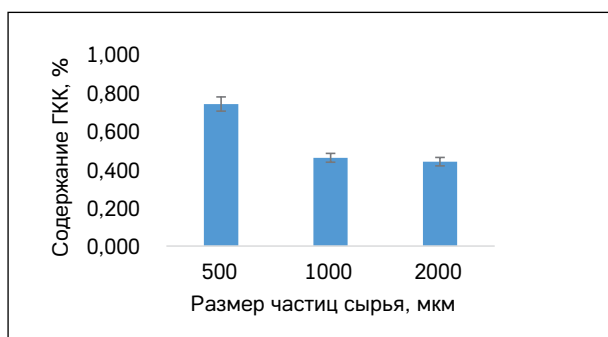
**Результаты дисперсионного анализа влияния природы и объемной доли экстрагентов на содержание ГКК**  
**Results of dispersion analysis of the nature and volume fraction of extractants influence on the HCAs content**

Уровень значимости ( $p$ )						
Диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon$ )	Динамическая вязкость ( $\eta \cdot 10^3$ , Па·с)	Температура кипения, °С	Относительная плотность, г/см <sup>3</sup>	Объемная доля метанола	Объемная доля этанола	Объемная доля пропанола-1
$4,4 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	0,26	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$
Объемная доля пропанола-2	Объемная доля ацетона	Объемная доля ацетонитрила	Объемная доля ДМСО	Объемная доля этиленгликоля	Объемная доля пропиленгликоля-1,2	Объемная доля глицерина
$2,8 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	0,29	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$



**Рисунок 9.** Зависимость содержания ГКК от кратности экстракции.

**Figure 9.** Dependence of the HCAs content on the extraction rate.



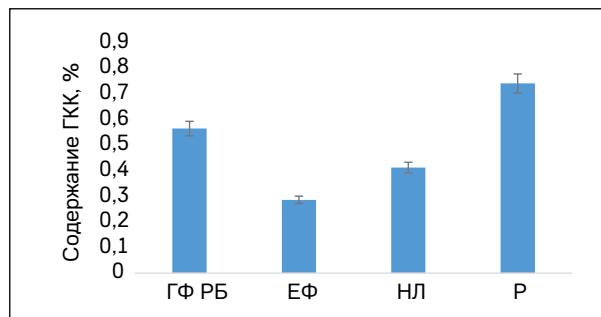
**Рисунок 10.** Зависимость содержания ГКК от размера частиц сырья.

**Figure 10.** Dependence of the HCAs content on the particle size of the medicinal plant raw material.

сырья – 500 мкм (**рисунок 10**). При однократной экстракции извлекалось в 2,4 раза больше ГКК, чем при двукратной. Содержание ГКК снижалось с увеличением степени измельчения сырья с формированием плато при 1000 и 2000 мкм.

При проведении дисперсионного анализа влияния условий экстракции на содержание ГКК выявлено, что статистически значимыми факторами экстракции являлись: длительности ( $p = 0,0053$ ), температура ( $p = 0,0062$ ), кратность ( $p = 0,0017$ ) экстракции, соотношение сырья и экстрагента ( $p = 0,040$ ); статистически не значимы – размер частиц сырья ( $p = 0,085$ ).

Таким образом, предложена следующая методика экстракции ГКК из одуванчика лекарственного корней. Точную навеску измельченных одуванчика лекарственного корней 500 мкм массой 2 г помещали в круглодонную колбу со шлифом вместимостью 100 мл и добавляли 20,0 мл воды очищенной; 25,0 мл пропанола-1 и 5,00 мл ацетона. Взвешивали с точностью до 0,01 г, затем нагревали с обратным холодильником при температуре 80°C в течение 6 ч. Колбу с содержимым охлаждали до комнатной температуры и взвешивали, при необходимости доводили массу пропанолом-1 до первоначальной и перемешивали. Центрифугировали при 15000 об/мин в течение 5 мин. Полученное после центрифугирования извлечение (надосадочную жидкость) использовали для количественного определения.



**Рисунок 11.** Содержание ГКК при разных условиях экстракции: ГФ РБ – Государственная фармакопея Республики Беларусь; ЕФ – Европейская фармакопея; НЛ – методика экстракции из источника [13]; Р – разработанные условия экстракции.

**Figure 11.** Content of HCAs under different extraction conditions: ГФ РБ – State Pharmacopoeia of the Republic of Belarus; ЕФ – European Pharmacopoeia; НЛ – extraction method from the source [13]; Р – developed extraction conditions.

При воспроизведении условий экстракции, описанных в частных фармакопейных статьях 07/2026:1852 ГФ РБ [4], ЕФ 01/2011:1852 [12] и в статье [13], содержание составило в среднем от 0,3% до 0,55% против 0,7% при подобранных условиях экстракции, которые, в свою очередь, позволяли извлечь больше ГКК в диапазоне: от 30,1% (отн.) ( $p = 0,026$ ) до 2,5 раза (**рисунок 11**).

В частной статье ГФ РБ используется двукратная водная экстракция в течение 30 мин на кипящей водяной бане при соотношении сырья и экстрагента 1 к 25 при размере частиц сырья 355 мкм и менее. В частной статье ЕФ проводят водную экстракцию в течение 1 ч при перемешивании при соотношении сырья и экстрагента 1 к 20 при размере частиц 250 мкм и менее. В статье экстракция проводится 50% и 80% этанолом в течение 3 ч при 60°C с и без добавления 1% раствора муравьиной кислоты.

## ВЫВОДЫ

Экспериментально обоснованы условия экстракции, обеспечивающие больший выход ГКК в сравнении с фармакопейными и литературными методиками и включающие использование для извлечения 60% пропанола-1 или смеси из 50% пропанола-1 и 10% ацетона при температуре – 80°C; длительности – 6 ч; соотношении сырья и экстрагента – 1 к 25; кратности – однократная и размере частиц сырья – 500 и менее.

Диэлектрическая проницаемость, динамическая вязкость, температура кипения, объемные доли метанола, этанола, пропанола-1, пропанола-2, ацетона, ацетонитрила, ДМСО, пропиленгликоля-1,2, этиленгликоля, глицерина в растворах, длительность, температура, кратность экстракции, соотношение сырья и экстрагента статистически значимо влияли на экстракцию ГКК.

Фармакопейные и литературные способы экстракции ГКК из одуванчика лекарственного корней статистически значимо уступали разработанному способу по извлечению целевой группы веществ. Предложенный способ можно рекомендовать для экстракции ГКК с целью обогащения данной группой БАВ получаемых вытяжек.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Kurkin VA, Zapesochная GG, Avdeeva EV, et al. Creation of resource-saving technologies of processing the medicinal plant raw materials. *Newsletter of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2010;12(1-3):737-40. [Куркин В.А., Запесочная Г.Г., Авдеева Е.В., и др. Создание ресурсосберегающих технологий переработки лекарственного растительного сырья. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2010;1:737-740]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozdanie-resursosberegayuschih-tehnologiy-pererabotki-lekarstvennogo-rastitelnogo-syrya/viewer>
2. Semushkin DN, Ziganshin BG, Semushkin NI, et. al. Methods of intensification of processes of extraction of biologically active substances from plant materials. *Vestnik Kurganskoi GSKhA*. 2023;1(45):78-88. (In Russ.). [Семушкин Д.Н., Зиганшин Б.Р., Семушкин Н.И., и др. Методы интенсификации процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья. *Вестник Казанского ГСХА*. 2023;1(45):78-88]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-intensifikatsii-protseessov-ekstragirovaniya-biologicheskii-aktivnykh-veschestv-iz-rastitelnogo-syrya/viewer>
3. Abashkin IA, Eleeв YuA, Glukhan EN, et. al. Extraction methods for biologically active substances from plant materials (review). *Chemistry and Technology of Organic Substances*. 2021;2(18):43-59. [Абашкин И.А., Елеев Ю.А., Глухан Е.Н., и др. Методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья (обзор). *Химия и технология органических веществ*. 2021;2(18):43-59]. DOI: [https://doi.org/10.54468/25876724\\_2021\\_2\\_43](https://doi.org/10.54468/25876724_2021_2_43)
4. *State Pharmacopoeia of the Republic of Belarus. Vol. 2. Quality control of substances for pharmaceutical use and medicinal plant raw materials*. Molodechno, 2016. (In Russ.). [Государственная фармакопея Республики Беларусь. Т. 2. Контроль качества субстанций для фармацевтического использования и лекарственного растительного сырья. Молодечно, 2016].
5. Najda A, Sugier D. Selected secondary metabolites content in the roots of *Taraxacum officinale* depending on the method of plantation establishment. *Herba Polonica*. 2007;3(53):152-156.
6. Najda A, Sugier D. Chromatographical analysis of phenolic acids occurring in the roots of *Taraxacum officinale*. *Herba Polonica*. 2007;3(53):313-318.
7. Mišek M, Marcinčáková D, Legát J. Polyphenols Content, Antioxidant Activity, and Cytotoxicity Assessment of *Taraxacum officinale* Extracts Prepared through the Micelle-Mediated Extraction Method. *Molecules*. 2019;24(6): 1025. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24061025>
8. Kenny O, Smyth ThJ, Hewage CM, Brunton NP. Antioxidant properties and quantitative UPLC-MS/MS analysis of phenolic compounds in dandelion (*Taraxacum officinale*) root extracts. *Free Radicals and Antioxidants*. 2014;4(1):55-61. DOI: <https://doi.org/10.5530/fra.2014.1.9>
9. Krapid S. Characterization of phenolic acids and flavonoids in dandelion (*Taraxacum officinale* Web. ex Wigg.) root and herb by high-performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry. *Commun Mass Spectrom*. 2005;2(19):179-186. DOI: <https://doi.org/10.1002/rcm.1767>
10. Ravdel' AA, Ponomareva AM. *Brief reference book of physical and chemical quantities*. SPb, 2003. (In Russ.). [Равдель А.А., Пономарева А.М. *Краткий справочник физико-химических величин*. СПб, 2003].
11. *State Pharmacopoeia of the Republic of Belarus. Vol. 1. General methods of quality control of medicines*. Molodechno, 2012. (In Russ.). [Государственная фармакопея Республики Беларусь. Т. 1 : Общие методы контроля качества лекарственных средств. Молодечно, 2012].
12. *European Pharmacopoeia*. 10-th edition, Supplement 10.0. Vol. 1. Strasbourg: Council of Europe, 2019.
13. Xue Y. Dandelion extract suppresses reactive oxidative species and inflammasome in intestinal epithelial cells. *Journal of Functional Foods*. 2017;29:10-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.11.032>

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	ADDITIONAL INFORMATION
<b>Источник финансирования.</b> Исследование выполнено в рамках задания 2.2.3 «Получить и стандартизировать экстракционные лекарственные формы с повышенным содержанием биологически активных веществ» в рамках государственной программы научных исследований 2 «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия» подпрограммы 2.2 «Синтез и направленное модифицирование регуляторов биопроцессов (Биорегуляторы)».	<b>Study funding.</b> The work was carried out as part of task 2.2.3 Production and Standardisation Extracts with an Increased and Technologies, Bioregulators and Bioorganic Chemistry Content of Biologically Active Substances within the framework of state research programme 2 Chemical Processes, Reagents and sub-programme 2.2 Synthesis and Targeted Modification of Bioprocess Regulators (Bioregulators).
<b>Конфликт интересов.</b> Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.	<b>Conflict of Interest.</b> The authors declare that there are no obvious or potential conflicts of interest associated with the content of this article.
<b>Участие авторов.</b> Р.И. Лукашов – дизайн исследования, написание текста. Н.С. Гурина – дизайн исследования, редактирование статьи. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью или добросовестностью любой части работы.	<b>Contribution of individual authors.</b> R.I. Lukashou – research design, writing of the text. N.S. Gurina – research design, editing of the article. All authors gave their final approval of the manuscript for submission, and agreed to be accountable for all aspects of the work, implying proper study and resolution of issues related to the accuracy or integrity of any part of the work.
<b>Автор для переписки</b> <b>Лукашов Роман Игоревич</b> Адрес: Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет», пр-т Дзержинского, 83, г. Минск, Республика Беларусь, 220083. E-mail: <a href="mailto:r_lukashov@mail.ru">r_lukashov@mail.ru</a>	<b>Corresponding Author</b> <b>Raman I. Lukashou</b> Address: Educational Institution "Belarusian State Medical University", 83 Dzerzhinsky Ave., Minsk, Republic of Belarus, 220083. E-mail: <a href="mailto:r_lukashov@mail.ru">r_lukashov@mail.ru</a>