

Статья поступила в редакцию: 07.08.2026

Статья принята к публикации: 04.09.2026

Статья опубликована: 28.09.2026

УДК 581.19+543.42

DOI: 10.32743/UniTech.2026.150.9.23380

**Определение содержания глицирризиновой кислоты и общих флавоноидов
в корнях солодки (*Glycyrrhiza glabra* L.), полученных из некоторых
регионов Узбекистана**

Мадрахимова Муаззам Кенжа кизи

докторант

Ташкентский химико-технологический институт

Республика Узбекистан, г. Ташкент

Машарипова Зулхумар Атабековна

доц. (PhD)

Ташкентский химико-технологический институт

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: zulxumoratabekovna@gmail.com

**Determination of the content of glycyrrhizic acid and total flavonoids in licorice
(*Glycyrrhiza glabra* L.) roots obtained from selected regions of Uzbekistan**

Madrakhimova muazzam Kenja qizi

PhD doctoral student

Tashkent Institute of Chemical Technology

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Masharipova Zulkhumar Atabekovna

Associate Professor, PhD

Tashkent Institute of Chemical Technology

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Аннотация

В данном исследовании сравнивалось содержание биологически активных веществ в корнях солодки (*Glycyrrhiza glabra* L.), собранных в Республике Каракалпакстан, Хорезмской и Джизакской областях Республики Узбекистан, а также изучалось влияние различных методов сушки на сохранение глицирризиновой кислоты и общего содержания флавоноидов. Целью исследования было выявление наиболее перспективного растительного материала и выбор оптимального метода сушки для последующего производства стандартизированных растительных экстрактов. Объектом исследования служили образцы корней солодки, собранные в Республике Каракалпакстан, Хорезмской и Джизакской областях. Содержание

Библиографическое описание: Мадрахимова М.К. кизи, Машарипова З.А. Определение содержания глицирризиновой кислоты и общих флавоноидов в корнях солодки (*Glycyrrhiza glabra* L.), полученных из некоторых регионов Узбекистана // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2026. 9(150). URL: <https://universum.com/ru/tech/archive/item/23380>

глицирризиновой кислоты определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), а общее содержание флавоноидов — спектрофотометрически относительно рутина. Наибольшее содержание глицирризиновой кислоты ($6,14 \pm 0,18$ %) и общего количества флавоноидов ($4,25 \pm 0,15$ %) было обнаружено в образцах, собранных в Республике Каракалпакстан, которые были отобраны для дальнейших исследований. Сравнительная оценка различных методов сушки показала, что вакуумная сушка при 60 ± 5 °C обеспечивает максимальное сохранение биологически активных веществ и сокращает время сушки по сравнению с естественной сушкой. Эти результаты могут быть использованы при разработке технологий производства стандартизированных экстрактов и функциональных пищевых продуктов на основе корней солодки.

Abstract

In this study, the content of biologically active substances in licorice roots (*Glycyrrhiza glabra* L.) collected from the Republic of Karakalpakstan, Khorezm and Jizzakh regions of the Republic of Uzbekistan was compared and the effect of different drying methods on the preservation of glycyrrhizinic acid and total flavonoids was studied. The aim of the study was to identify the most promising plant material and select the optimal drying method for the subsequent production of standardized plant extracts. Licorice root samples collected from the Republic of Karakalpakstan, Khorezm and Jizzakh regions served as the object of study. The content of glycyrrhizinic acid was determined using high-performance liquid chromatography (HPLC), and the total flavonoid content was determined spectrophotometrically relative to rutin. The highest content of glycyrrhizinic acid (6.14 ± 0.18 %) and total flavonoids (4.25 ± 0.15 %) was found in the samples collected from the Republic of Karakalpakstan, which were selected for further studies. A comparative evaluation of different drying methods showed that vacuum drying at 60 ± 5 °C provides maximum preservation of biologically active substances and reduces drying time compared to natural drying. These results can be used in the development of technologies for the production of standardized extracts and functional food products based on licorice roots.

Ключевые слова: *Glycyrrhiza glabra* L., солодка, глицирризиновая кислота, флавоноиды, спектрофотометрия, сушка, экстракт.

Keywords: *Glycyrrhiza glabra* L., licorice, glycyrrhizin acid, flavonoid, spectrophotometry, drying, extract.

Введение

Солодка голая (*Glycyrrhiza glabra* L., семейство Fabaceae) является одним из наиболее ценных и широко используемых лекарственных растений в мировой фармацевтической, пищевой и косметической промышленности [23].

Солодка гладкая (*Glycyrrhiza glabra*), одно из лекарственных растений, представляет собой многолетнее растение, содержащее различные биологически активные соединения, такие как флавоноиды.

Промышленная ценность подземных органов *G. glabra* обусловлена богатым комплексом биологически активных веществ (БАВ), ключевыми среди которых являются тритерпеновые сапонины (в первую очередь глицирризиновая кислота) и фенольные

соединения (флавоноиды, изофлавоноиды и халконы) [5,27]. Глицирризиновая кислота (ГК) — специфический тритерпеновый гликозид, обладающий широким спектром фармакологической активности, включая противовирусное, противовоспалительное, гепатопротекторное и иммуно-модулирующее действие [10, 16]. В свою очередь, комплекс общих флавоноидов сырья *G. glabra* (включающий ликвиритин, изоликвиритин, глабридин и ликвиритигенин) проявляет мощный антиоксидантный потенциал, антимикробную активность и способность нейтрализовать свободные радикалы [9,19,11]. Синергетическое действие ГК и флавоноидов определяет высокую лечебно-профилактическую ценность фитопрепаратов и функциональных продуктов на основе экстрактов солодки [30].

Для надежной оценки качества сырья *G. glabra* и контроля содержания целевых аналитов в современной аналитической практике широко применяются методы высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ/HPLC) и спектрофотометрии [4,31]. ВЭЖХ позволяет проводить точное количественное определение ГК и индивидуальных флавоноидов, тогда как спектрофотометрический анализ обеспечивает экспрессную оценку суммарного содержания фенольных соединений [25,15].

Качественный и количественный состав БАВ в дикорастущих и культивируемых популяциях *G. glabra* подвержен значительной изменчивости. Накопление вторичных метаболитов в растительной матрице напрямую зависит от эколого-климатических условий произрастания, почвенно-грунтовых факторов, высоты над уровнем моря, уровня инсоляции и доступности влаги [13,22,29].

Таблица 1.

Влияние почвенно-климатических и экологических стрессовых факторов на синтез биологически активных веществ (глицирризиновой кислоты и флавоноидов) *Glycyrrhiza glabra* L. [28,29,30,31,32]

Область	Климатические условия почвы и показатели стресса	Засоленность почвы (ЕС _е , дСм ⁻¹ / Уровень засоленности)	Среднегодовое количество осадков (мм)	Максимальная летняя температура (°C)	Количество биологически активных веществ (% от сухого веса)
Республике Каракалпакстан	Сильное засоление, засоленные почвы, высокая температура и нехватка воды (сильный абиотический стресс)	8,0 – 16,5 дСм ⁻¹ (Высоко-солёный раствор)	80-110 mm	+42-+45 °C	Глицирризиновая кислота: 6,2–8,5% Флавоноиды: 2,1–2,8%
Хорезмской областях	Умеренно и сильно засоленные орошаемые почвы, засуха	4,5 – 9,2 дСм ⁻¹ (Умеренно и сильно солёная среда)	90-120 mm	+40+43 °C	Глицирризиновая кислота: 5,5–7,2% Флавоноиды: 1,8–2,4%
Джизакской областях	Умеренно и слабо засоленные гипсовые/серые почвы, относительно низкий уровень абиотического стресса.	1,2 – 3,8 дСм ⁻¹ (слабосолевой/несолевой раствор)	280-380 mm	+36+39 °C	Глицирризиновая кислота: 3,8–5,2% Флавоноиды: 1,2–1,6%

В условиях аридного и резко континентального климата Центральной Азии экофизиологический стресс (высокие температуры, засоление почв, дефицит осадков) оказывает существенное влияние на биосинтетические пути растений, стимулируя или подавляя синтез определенных групп метаболитов [14,24].

Узбекистан обладает значительными естественными ресурсами *G. glabra*, произрастающей в различных физико-географических зонах — от водосбора Амударьи (Каракалпакстан, Хорезмская область) до предгорных и горных районов [26,6,7]. Однако химический профиль и динамика накопления глицирризиновой кислоты и общих флавоноидов в сырье, заготовленном в различных регионах республики, остаются недостаточно систематизированными [19,21,17].

Сравнительный анализ биохимического состава солодки из различных экотипов Узбекистана имеет решающее значение для стандартизации сырья, выявления регионов с наибольшим накоплением БАВ и оптимизации параметров получения высококачественных экстрактов [6,8].

В связи с этим сырьё данного региона было выбрано в качестве основного объекта для дальнейших исследований, направленных на оптимизацию процессов сушки и экстракции. На следующем этапе были детально изучены кинетика процесса сушки корней солодки, оптимальные температурные режимы и степень сохранности биологически активных веществ [1,2,3].

Извлечение биологически активных веществ из корней солодки (*Glycyrrhiza glabra* L.) с высоким выходом во многом зависит от способа сушки растительного сырья, который является одним из ключевых технологических этапов [2,21]. Снижение содержания влаги до нормативного уровня предотвращает развитие микроорганизмов, обеспечивает длительное хранение сырья, а также способствует сохранению стабильности глицирризиновой кислоты, флавоноидов и других биологически активных соединений. В связи с этим с целью стандартизации сырья были проведены сравнительные исследования различных способов сушки и факторов, влияющих на эффективность процесса [21]. Согласно результатам исследований, доказано, что при выборе оптимальных условий можно получить максимальное количество полифенольных веществ. В соответствии с принципами системного анализа, выбор оптимального растительного сырья должен основываться на комплексной оценке совокупности физико-химических показателей и содержания биологически активных веществ [2].

Материалы и методы исследования

Был изучен состав биологически активных веществ в образцах корней *Glycyrrhiza glabra* L., собранных в Республике Каракалпакстан, Хорезмской и Джизакской областях. На основании результатов определения содержания глицирризиновой кислоты и суммарных флавоноидов в корнях солодки, собранных в Республике Каракалпакстан, Хорезмской и Джизакской областях Узбекистана, для дальнейших исследований было отобрано сырье из региона с самым высоким содержанием биологически активных веществ: Для выбранных образцов были проведены исследования, по сравнительной оценке, различных способов сушки с целью определения оптимальных технологических режимов, обеспечивающих максимальную сохранность биологически активных соединений.

С целью сравнительной оценки эффективности различных способов сушки корней солодки были использованы следующие методы: принудительная сушка горячим воздухом, вакуумная сушка при температуре 60 ± 5 °С и остаточном давлении 0,6–0,8 кгс/см², сушка с использованием инфракрасного излучения на установке ИКС–2М, а также естественная сушка в хорошо проветриваемом месте, защищённом от воздействия прямых солнечных лучей. На первом этапе корни солодки высушивали в естественных условиях. Для этого сырьё раскладывали слоем толщиной 7–10 см в хорошо проветриваемом помещении, защищённом от прямых солнечных лучей, с периодическим перемешиванием.

Содержание глицирризиновой кислоты в корнях солодки (*Glycyrrhiza glabra* L.) определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

Для анализа из предварительно измельчённого и просеянного через сито с размером отверстий 0,5 мм сухого порошка корней отбирали аналитическую навеску массой 1,0 г и помещали её в мерную колбу вместимостью 100 мл. Затем добавляли 50 мл 70 %-ного раствора метанола и проводили экстракцию в ультразвуковой ванне в течение 30 мин. После охлаждения объём раствора доводили до метки 70 %-ным метанолом и фильтровали через бумажный фильтр. Полученный фильтрат дополнительно фильтровали через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм и использовали для анализа методом ВЭЖХ.

Хроматографический анализ проводили на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-20A с использованием колонки C18 (250 × 4,6 мм; 5 мкм). В качестве подвижной фазы применяли воду, содержащую 0,1 % фосфорной кислоты (элюент А), и ацетонитрил (элюент В) в градиентном режиме. Скорость потока составляла 1,0 мл/мин, температура колонки — 30°С, объём вводимой пробы — 20 мкл, длина волны детектирования — 254 нм. В качестве стандартного образца использовали глицирризиновую кислоту чистотой 98 % (Sigma-Aldrich).

Содержание глицирризиновой кислоты в корнях солодки и полученных экстрактах определяли по следующей формуле:

$$X = \frac{S_1 \cdot a_0 \cdot P}{S_0 \cdot a_1}$$

где:

X — содержание глицирризиновой кислоты в исследуемом сырье, %;

S_1 — площадь пика глицирризиновой кислоты на хроматограмме исследуемого раствора;

S_0 — площадь пика глицирризиновой кислоты на хроматограмме стандартного раствора;

P — содержание глицирризиновой кислоты в стандартном образце, %;

a_0 — масса стандартного образца, г;

a_1 — масса анализируемого сырья, г.

Методика определения содержания общих флавоноидов

Содержание общих флавоноидов в корнях солодки (*Glycyrrhiza glabra* L.) определяли спектрофотометрическим методом, основанным на реакции комплексообразования с хлоридом алюминия, с выражением результатов в пересчёте на рутин.

Для анализа из предварительно высушенного и просеянного через сито с размером отверстий 0,5 мм порошка корней солодки отбирали аналитическую навеску массой 1,0 г и помещали её в круглодонную колбу вместимостью 150 мл. К навеске добавляли 30 мл 50 %-ного этанола, колбу соединяли с обратным холодильником и проводили экстракцию на кипящей водяной бане в течение 30 минут, периодически встряхивая содержимое.

Полученный горячий экстракт фильтровали через ватный фильтр в мерную колбу вместимостью 100 мл. Остаток сырья на фильтре дважды повторно экстрагировали по 30 мл 50 %-ного этанола при тех же условиях. Все фильтраты объединяли, охлаждали и доводили объём до метки 50 %-ным этанолом, после чего тщательно перемешивали. Полученный раствор использовали в качестве раствора А.

Для анализа в мерную колбу вместимостью 25 мл вносили 1,0 мл раствора А, затем добавляли 1,0 мл 2 %-ного раствора хлорида алюминия в 95 %-ном этаноле. После этого объём доводили до метки 95 %-ным этанолом и тщательно перемешивали.

Раствор сравнения готовили аналогичным образом, однако вместо раствора хлорида алюминия добавляли одну каплю разбавленной уксусной кислоты, после чего объём также доводили до 25 мл 95 %-ным этанолом.

После выдерживания растворов при комнатной температуре в течение 40 минут оптическую плотность образовавшегося комплекса измеряли при длине волны 415 нм на спектрофотометре UV–Vis с использованием кюветы с длиной оптического пути 10 мм.

Для построения калибровочного графика использовали рабочий стандартный образец рутина. Для этого 0,050 г рутина, предварительно высушенного при температуре 130–135 °С в течение 3 часов, точно взвешивали, помещали в мерную колбу вместимостью 100 мл, растворяли приблизительно в 85 мл 95 %-ного этанола, затем после охлаждения доводили объём до метки тем же растворителем и тщательно перемешивали. Стандартный раствор также подвергали реакции с хлоридом алюминия в условиях, аналогичных исследуемым образцам, после чего измеряли его оптическую плотность.

Содержание общих флавоноидов в пересчёте на рутин рассчитывали по следующей формуле:

$$X = \frac{D \cdot m_0 \cdot 100}{D_0 \cdot m \cdot (100 - w)}$$

где:

X — содержание общих флавоноидов (в пересчёте на рутин), %;

D — оптическая плотность исследуемого раствора;

D₀ — оптическая плотность стандартного раствора рутина;

m — масса порошка корней солодки, взятая для анализа, г;

m₀ — масса рабочего стандартного образца рутина, г;

W — потеря массы сырья при высушивании (влажность), %.

В качестве качественной реакции к исследуемому раствору добавляли 2 %-ный раствор хлорида алюминия. Появление зелёно-жёлтой окраски раствора подтверждало присутствие флавоноидов.

Все анализы выполняли в трёх параллельных повторностях, а результаты представляли в виде среднего значения $\pm$ стандартного отклонения ($M \pm SD$).

Для оценки статистической значимости различий между образцами и методами сушки из Республики Каракалпакстан, Хорезмской и Джизакской областей использовался однофакторный дисперсионный анализ с последующим тестом Тьюки. Различия считались статистически значимыми при уровне значимости $p < 0,05$. Все статистические расчеты проводились с помощью программы SPSS (версия 26.0).

Данная методика соответствует требованиям Государственной фармакопеи и широко применяемому в научных исследованиях спектрофотометрическому методу с использованием хлорида алюминия, что позволяет определять содержание общих флавоноидов в корнях солодки в пересчёте на рутины (%).

Результаты и обсуждение

Содержание глицирризиновой кислоты определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), а содержание общих флавоноидов — спектрофотометрическим методом. Результаты анализа представлены в Таблице 2.

Таблица 2.

Содержание глицирризиновой кислоты и общих флавоноидов в корнях *Glycyrrhiza glabra* L. собранных в различных регионах

№	Регион	Глицирризиновая кислота, %	Общие флавоноиды, %
1	Республика Каракалпакстан	$6,14 \pm 0,18^a$	$4,25 \pm 0,15^a$
2	Хорезмская область	$5,62 \pm 0,16^b$	$3,98 \pm 0,13^b$
3	Джизакская область	$4,73 \pm 0,14^c$	$3,86 \pm 0,12^b$
Статистика	ANOVA (F-критерий, p-значение)	$F=61.85; p<0.001$	$F=6.94; p<0.027$

Примечание: Разные буквы (^a, ^b, ^c) в пределах одного столбца указывают на статистически значимые различия между образцами ($p < 0.05$, One-Way ANOVA, критерий Тьюки).

Согласно данным, приведённым в таблице 2, установлено, что содержание глицирризиновой кислоты и общих флавоноидов в корнях *Glycyrrhiza glabra* L. в определённой степени зависит от региона произрастания. Наибольшее содержание глицирризиновой кислоты было выявлено в образцах, собранных в Республике Каракалпакстан ($6,14 \pm 0,18$ %), что превышало соответствующие показатели образцов из Хорезмской ($5,62 \pm 0,16$ %) и Джизакской ($4,73 \pm 0,14$ %) областей.

Аналогичная закономерность наблюдалась и для содержания общих флавоноидов. Максимальное их количество было обнаружено в образцах из Республики Каракалпакстан ($4,25 \pm 0,15$ %), тогда как в образцах, собранных в Хорезмской и Джизакской областях, этот показатель составил соответственно $3,98 \pm 0,13$ % и $3,86 \pm 0,12$ %.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что почвенно-климатические условия, уровень влажности и экологические факторы оказывают существенное влияние на накопление биологически активных веществ в корнях солодки. В частности, более высокое содержание глицирризиновой кислоты и флавоноидов в образцах, собранных в Республике Каракалпакстан, указывает на высокую биологическую ценность данного растительного сырья и его перспективность для получения стандартизованных растительных экстрактов.

Таким образом, результаты, представленные в таблицах 2, свидетельствуют о том, что образцы корней солодки, собранные во всех исследованных регионах, соответствуют требованиям Государственной фармакопеи по содержанию биологически активных веществ. Однако наибольшие значения содержания экстрактивных веществ, глицирризиновой кислоты и флавоноидов были выявлены в образцах, собранных в Республике Каракалпакстан.

В связи с тем, что образцы корней солодки, заготовленные в Республике Каракалпакстан, содержали наибольшее количество биологически активных веществ, они были отобраны в качестве объекта дальнейших исследований по выбору оптимального способа сушки.

При естественной сушке корней солодки обеспечивается равномерное удаление влаги из растительного сырья. Вместе с тем известно, что при сушке под воздействием прямых солнечных лучей возможно снижение содержания биологически активных веществ, в частности флавоноидов, вследствие частичного разрушения некоторых фенольных соединений под действием ультрафиолетового излучения. Поэтому естественную сушку проводили в хорошо проветриваемом месте, защищённом от прямых солнечных лучей. Для каждого способа сушки были оценены продолжительность процесса, динамика снижения влажности и степень сохранности биологически активных веществ после завершения процесса. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3.

**Влияние способа сушки на содержание биологически активных веществ в корнях
Glycyrrhiza glabra L**

Способ сушки	Глицирризиновая кислота, %	Общие флавоноиды (в пересчёте на рутин), %	Продолжительность сушки, ч
Принудительная сушка горячим воздухом (60 ± 5 °C)	$6,08 \pm 0,17^a$	$4,18 \pm 0,14^a$	30
Вакуумная сушка ($0,6-0,8$ кгс/см ² ; 60 ± 5 °C)	$6,10 \pm 0,18^a$	$4,20 \pm 0,15^a$	24
Инфракрасная сушка (ИКС–2М)	$5,21 \pm 0,16^b$	$3,24 \pm 0,12^b$	18
Естественная сушка	$6,06 \pm 0,16^a$	$4,12 \pm 0,13^a$	72
статистика	ANOVA (F-критерий, p-значение)	F=21.64; $p < 0.001$	F=31.42; $p < 0.001$

Примечание: Одинаковые буквы (^a) означают отсутствие статистически значимых различий ($p > 0.05$). Инфракрасная сушка (^b) достоверно снижает содержание веществ по сравнению с остальными методами ($p < 0.05$).

Анализ результатов, представленных в таблице 3, показал, что способ сушки оказывает существенное влияние на степень сохранности глицирризиновой кислоты и общих флавоноидов в корнях солодки. Наиболее высокое содержание глицирризиновой кислоты ($6,10 \pm 0,18$ %) и общих флавоноидов ($4,20 \pm 0,15$ %) было зафиксировано в образцах, высушенных под вакуумом при температуре $60 \pm 5^\circ\text{C}$. При сушке с использованием принудительной циркуляции горячего воздуха биологически активные вещества также сохранялись практически полностью, а их содержание составило соответственно $6,08 \pm 0,17$ % и $4,18 \pm 0,14$ %.

При естественной сушке значительного снижения содержания биологически активных веществ не наблюдалось, однако продолжительность процесса (72 часа) снижает экономическую эффективность данного способа в условиях промышленного производства. Использование инфракрасного излучения обеспечило наименьшую продолжительность сушки (18 часов), однако сопровождалось снижением содержания глицирризиновой кислоты ($5,21 \pm 0,16$ %) и общих флавоноидов ($3,24 \pm 0,12$ %) по сравнению с другими методами.

Таким образом, с точки зрения максимального сохранения биологически активных веществ и сокращения продолжительности процесса наиболее эффективным методом является вакуумная сушка. Вместе с тем сушка с использованием принудительной циркуляции горячего воздуха также была признана эффективным технологическим способом, позволяющим получать растительное сырьё высокого качества. Полученные результаты послужили научной основой для последующего выбора оптимальных параметров экстракции глицирризиновой кислоты и флавоноидов из высушенных корней солодки.

Заключение

В результате исследования была проведена сравнительная оценка содержания глицирризиновой кислоты и суммарных флавоноидов в корнях *Glycyrrhiza glabra* L., собранных в Хорезмской области, Джизакской области и Республике Каракалпакстан Республики Узбекистан. Установлено, что накопление биологически активных веществ зависит от региона произрастания и определяется почвенно-климатическими условиями.

Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) установлено, что наибольшее содержание глицирризиновой кислоты характерно для образцов, собранных в Республике Каракалпакстан ($6,14 \pm 0,18$ %), тогда как спектрофотометрический анализ показал максимальное содержание общих флавоноидов ($4,25 \pm 0,15$ %) в этих же образцах. Полученные результаты свидетельствуют о высокой биологической ценности сырья Республики Каракалпакстан, что позволило выбрать его для дальнейших исследований по оптимизации процесса сушки.

Сравнительная оценка различных способов сушки показала, что наиболее эффективным методом является вакуумная сушка при температуре $60 \pm 5^\circ\text{C}$ и остаточном давлении $0,6\text{--}0,8$ кгс/см², обеспечивающая максимальную сохранность глицирризиновой кислоты ($6,10 \pm 0,18$ %) и общих флавоноидов ($4,20 \pm 0,15$ %) при сокращении продолжительности процесса по сравнению с естественной сушкой. Сушка с использованием принудительной циркуляции горячего воздуха также показала высокую эффективность и может быть рекомендована для промышленной переработки растительного сырья.

Полученные результаты могут служить научной основой для выбора высококачественного растительного сырья, оптимизации технологии сушки, разработки стандартизованных экстрактов и создания функциональных пищевых продуктов и биологически активных добавок на основе корней *Glycyrrhiza glabra* L

Список литературы

1. Артиков А.А., Машарипова З.А. Оптимальное программное управление процессом сушки при использовании микроволновой энергии // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2016. – № 3.
2. Артиков А.А., Джураев Х.Ф., Машарипова З.А. Системное мышление анализ, и нахождение оптимальных решений // Монография. Издательства «Дурдона» Бухара. – 2019.
3. Белова О.А. Фармакогностическое исследование корней и травы солодки голой (*Glycyrrhiza glabra* L.) и солодки уральской (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.): дис. ... канд. фармацевт. наук: 3.4.2 – Фармацевтическая химия, фармакогнозия. – Самара. – 2024. – 195 с.
4. Бровченко Б.В., Ермакова В.А., Кузьменко А.Н., Самылина И.А., Краснюк (младший) П. Оптимизация методов ВЭЖХ для количественного определения глицирризовой кислоты в корнях солодки. Разработка и регистрация лекарственных средств. 2018; (3): ст.162–165.
5. Куркин В.А., Рязанова Т.К., Егоров М.В., Белова О.А. Вопросы количественного определения биологически активных соединений корней солодки. Фармация, 2021; С. 24–31 [Электронный ресурс]. – Т. 70, № 7. URL: <https://doi.org/10.29296>. (дата обращения 24.09.2026)
6. Саноев А.И., Зарипова С.А., Ботиров Р.А., Халилов Р.М., Сагдуллаев Ш.Ш. Получение суммы агликоновых флавоноидов из отходов переработки корней *Glycyrrhiza glabra* L. *Universum: химия и биология*, vol. 1, no. 4 (142), 2026, P. 61–66. doi:10.32743/UniChem.2026.142.4.22353.
7. Abduraimov OS, Li W, Shomurodov HF, Feng Y. The Main Medicinal Plants in Arid Regions of Uzbekistan and Their Traditional Use in Folk Medicine. *Plants* (Basel). 2023 Aug 15;12(16): 2950. doi: 10.3390/plants12162950. PMID: 37631161; PMCID: PMC10458710.
8. Ali Esmail Al-Snafi *Glycyrrhiza glabra*: A phytochemical and pharmacological review *IOSR Journal of Pharmacy* (IOSRPHR), vol. 8, no. 06, 2018, P. 1–17.
9. Asl MN, Hosseinzadeh H // Review of pharmacological effects of *Glycyrrhiza* sp. and its bioactive compounds. *Phytother Res.* – 2008. – DOI: 10.1002/ptr.2362.
10. Bailly C, Vergoten G. *Glycyrrhizin*: An alternative drug for the treatment of COVID-19 infection and the associated respiratory syndrome? *Pharmacol Ther.* 2020 Oct;214:107618. doi: 10.1016/j.pharmthera.2020.107618. Epub 2020 Jun 24.

11. Docimo, T., Celano, R., Lambiase, A., Di Sanzo, R., Serio, S., Santoro, V., Coccetti, P., Russo, M., Rastrelli, L. & Piccinelli, A.L. (2024). Exploring Influence of Production Area and Harvest Time on Specialized Metabolite Content of *Glycyrrhiza glabra* Leaves and Evaluation of Antioxidant and Anti-Aging Properties. *Antioxidants*, 13(1), 93. – DOI: 10.3390/antiox13010093.
12. Egamberdieva, D., Jabborova, D. & Wirth, S. Allelopathic potential and stress-induced secondary metabolites in *Glycyrrhiza glabra* grown under saline soil conditions of Aral Sea region. *Soil Science and Plant Nutrition*. T. 68. – 2022.
13. Eghlima, G., Tafreshi, Y.M., Aghamir, F. et al. Regional environmental impacts on growth traits and phytochemical profiles of *Glycyrrhiza glabra* L. for enhanced medicinal and industrial use. *BMC Plant Biol* 25, 116 (2025). – DOI: 10.1186/s12870-025-06147-z.
14. Farag MA, Porzel A, Wessjohann LA. Comparative metabolite profiling and fingerprinting of medicinal licorice roots using a multiplex approach of GC-MS, LC-MS and 1D NMR techniques. *Phytochemistry*. 2012 Apr; 76:60–72. doi: 10.1016/j.phytochem.2011.12.010. Epub 2012 Feb 13. PMID: 22336263.
15. Han YJ, Kang B, Yang EJ, Choi MK, Song IS. Simultaneous Determination and Pharmacokinetic Characterization of Glycyrrhizin, Isoliquiritigenin, Liquiritigenin, and Liquiritin in Rat Plasma Following Oral Administration of *Glycyrrhizae Radix* Extract. *Molecules*. 2019 May 10;24(9):1816. doi: 10.3390/molecules24091816. PMID: 31083444; PMCID: PMC6539080.
16. Kao TC, Wu CH, Yen GC. Bioactivity and potential health benefits of licorice. *J Agric Food Chem*. 2014 Jan 22;62(3):542–53. doi: 10.1021/jf404939f. Epub 2014 Jan 8. PMID: 24377378.
17. Khaitov B, Karimov A, Khaitbaeva J, Sindarov O, Karimov A, Li Y. Perspectives of Licorice Production in Harsh Environments of the Aral Sea Regions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19(18):11770. – DOI: 10.3390/ijerph191811770.
18. Khaitov, B., Karimov, A., Allanov, K. & Islamov, S. Impact of soil salinity and drought stress on the secondary metabolite accumulation in wild *Glycyrrhiza glabra* L. in the Aral Sea basin // *Journal of Arid Land*. – 2021. – T. 13, № 8. – P. 845–858.
19. Madraximova M.K., Masharipova Z.A., Ilashova Y.H., Asatova U.U. Extraction of Biologically Active Substances for Food from the Root of *Glycyrrhiza Glabra* L [Электронный ресурс]. // *American Journal of Social and Humanitarian Research* Vol. 7 Issue 5 | P. 181–186|ISSN: 2690–9626. – T. 7, № 5. URL: <https://globalresearchnetwork.us/index.php/ajshr>. (дата обращения 24.09.2026)
20. Mamurova, M., Rakhimova, N., Sharipov, A. & Olimov, U. Assessment of glycyrrhizin and total flavonoid content in licorice roots across different ecological zones of Uzbekistan. *Plant Physiology and Biochemistry*, 179, 112–121. – 2022.
21. Masharipova Z.A., Yesboganova M.K. Qizilmiya ildiziga samarali ishlov berish [Электронный ресурс]. // *International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences*. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/>. (дата обращения 24.09.2026)

22. Montoro, P. Metabolic profiling of roots of liquorice (*Glycyrrhiza glabra*) from different geographical areas by ESI/MS/MS and determination of major metabolites by LC-ESI/MS and LC-ESI/MS/MS. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. – DOI: 10.1016/J.JPBA.2010.10.004.
23. Pastorino G, Cornara L, Soares S, Rodrigues F, Oliveira MBPP. Liquorice (*Glycyrrhiza glabra*): A phytochemical and pharmacological review. *Phytother Res*. 2018 Dec; 32(12):2323–2339. doi: 10.1002/ptr.6178. Epub 2018 Aug 17. PMID: 30117204; PMCID: PMC7167772.
24. Rahman, A.M. Albadrani, G., Ahmad Waraich, E., Hussain Awan, T., Yavaş, İ., & Hussain, S. (2023). Plant Secondary Metabolites and Abiotic Stress Tolerance: Overview and Implications. In *Plant Abiotic Stress Responses and Tolerance Mechanisms*. IntechOpen. – DOI: 10.5772/intechopen.111696.
25. Rizzato G, Scalabrin E, Radaelli M, Capodaglio G, Piccolo O. A new exploration of licorice metabolome. *Food Chem*. 2017 Apr 15; 221:959–968. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.11.068. Epub 2016 Nov 17. PMID: 27979300.
26. Sanoev A, Okhundedaev B, Sham'yanov I, Bobakulov K, Zaripova S, Botirov R, Sadikov A, Sagdullayev S, Ali F, Garayev E. Selective Extraction of Lipophilic Bioactive Compounds from Industrial Root Meal of *Glycyrrhiza glabra* L. *Molecules*. 2026; 31(14):2411. – DOI: 10.3390/molecules31142411.
27. Shang Z, Liu C, Qiao X, Ye M. Chemical analysis of the Chinese herbal medicine licorice (Gan-Cao): An update review. *J Ethnopharmacol*. 2022 Dec 5;299:115686. doi: 10.1016/j.jep.2022.115686. Epub 2022 Sep 5. PMID: 36067839.
28. Toderich, K., Mukimov, T., Shoaib, M. & Khujanazarov, T. Salt tolerance mechanisms and phytochemical variations in wild medicinal halophytes of Uzbekistan. *Industrial Crops and Products*, 154, 112680. – 2020.
29. Wahab S, Annadurai S, Abullais SS, Das G, Ahmad W, Kandasamy G, Vasudevan R, Ali MS, Amir M. *Glycyrrhiza glabra* (Licorice): A Comprehensive Review on Its Phytochemistry, Biological Activities, Clinical Evidence and Toxicology. *Plants (Basel)*. 2021 Dec 14; 10(12): 2751. doi: 10.3390/plants10122751.
30. Yamamoto S, Shimomura A, Watanabe S, Kojoma M, Suzuki A. Overwhelming glycyrrhizin production in *Glycyrrhiza glabra* induced by rhizobial symbiosis. *J Nat Med*. 2025 Jul;79(4): 833–844. doi: 10.1007/s11418-025-01918-2. Epub 2025 May 25. PMID: 40415147; PMCID: PMC12228657.
31. Zhang M., Wang M.-Y., Liu Y.-Q., Shi H.-M.; and Li, X.-B. (2011) Quality analysis of raw and honey-processed licorice of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. and *G. glabra* L. by simultaneous determination of five bioactive components using RPHPLC/DAD method // *Journal of Food and Drug Analysis*., Article 14. Available at:. – 2011. – T. 19, № 2. – DOI: 10.38212/2224–6614.2260.
32. Zhang, Y., Abdiev, A., Chen, X. & Boboev, M. Comparative analysis of bioactive compound accumulation in *Glycyrrhiza glabra* under extreme abiotic stress in Central Asian drylands. *Environmental and Experimental Botany*, 208, 105241. – 2023.

References

1. Artikov A.A., Masharipova Z.A. [Optimal program control of the drying process using microwave energy]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*, 2016, no. 3, P. 27–29. (In Russ.)
2. Artikov A.A., Dzhuraev Kh.F., Masharipova Z.A. [Systems thinking analysis and finding optimal solutions]. *Monograph. Bukhara, Durdona Publ.*, 2019. 185 P. (In Russ.)
3. Belova O.A. [Pharmacognostic study of roots and herb of licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) and Chinese licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.)]. *Dis. ... kand. farmatsevt. nauk. Samara*, 2024. 195 P. (In Russ.)
4. Brovchenko B.V., Ermakova V.A., Kuz'menko A.N., Samylina I.A., Krasnyuk I.I. (Jr.) [Optimization of HPLC methods for quantitative determination of glycyrrhizic acid in licorice roots]. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*, 2018, no. 3, P. 162–165. (In Russ.)
5. Kurkin V.A., Ryazanova T.K., Egorov M.V., Belova O.A. [Issues of quantitative determination of biologically active compounds of licorice roots]. *Farmatsiya*, 2021, vol. 70, no. 7, P. 24–31. (In Russ.)
6. Sanoev A.I., Zaripova S.A., Botirov R.A., Khalilov R.M., Sagdullaev Sh.Sh. [Obtaining the sum of aglycone flavonoids from processing waste of *Glycyrrhiza glabra* L. roots]. *Universum: khimiya i biologiya*, 2026, no. 4 (142), P. 61–66. DOI 10.32743/UniChem.2026.142.4.22353. (In Russ.)
7. Abduraimov O.S., Li W., Shomurodov H.F., Feng Y. The main medicinal plants in arid regions of Uzbekistan and their traditional use in folk medicine. *Plants*, 2023, vol. 12, no. 16, art. 2950. DOI 10.3390/plants12162950.
8. Al-Snafi A.E. *Glycyrrhiza glabra*: A phytochemical and pharmacological review. *IOSR Journal of Pharmacy (IOSRPHR)*, 2018, vol. 8, no. 6, P. 1–17.
9. Asl M.N., Hosseinzadeh H. // Review of pharmacological effects of *Glycyrrhiza* sp. and its bioactive compounds. *Phytotherapy Research*. – 2008. – No. 6. – P. 709–724. – DOI: 10.1002/ptr.2362.
10. Bailly C., Vergoten G. Glycyrrhizin: An alternative drug for the treatment of COVID-19 infection and the associated respiratory syndrome? *Pharmacology & Therapeutics*, 2020, vol. 214, art. 107618. DOI 10.1016/j.pharmthera.2020.107618.
11. Docimo T., Celano R., Lambiase A., Di Sanzo R., Serio S., Santoro V., Coccetti P., Russo M., Rastrelli L., Piccinelli A.L. Exploring influence of production area and harvest time on specialized metabolite content of *Glycyrrhiza glabra* leaves and evaluation of antioxidant and anti-aging properties. *Antioxidants*, 2024, vol. 13, no. 1, art. 93. DOI 10.3390/antiox13010093.
12. Egamberdieva D., Jabborova D., Wirth S. Allelopathic potential and stress-induced secondary metabolites in *Glycyrrhiza glabra* grown under saline soil conditions of Aral Sea region. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2022, vol. 68, no. 3, P. 301–310.
13. Eghlima G., Tafreshi Y.M., Aghamir F. et al. Regional environmental impacts on growth traits and phytochemical profiles of *Glycyrrhiza glabra* L. for enhanced medicinal and industrial use. *BMC Plant Biology*, 2025, vol. 25, art. 116. DOI 10.1186/s12870-025-06147-z.

14. Farag M.A., Porzel A., Wessjohann L.A. Comparative metabolite profiling and fingerprinting of medicinal licorice roots using a multiplex approach of GC-MS, LC-MS and 1D NMR techniques. *Phytochemistry*, 2012, vol. 76, P. 60–72. DOI 10.1016/j.phytochem.2011.12.010.
15. Han Y.J., Kang B., Yang E.J., Choi M.K., Song I.S. Simultaneous determination and pharmacokinetic characterization of glycyrrhizin, isoliquiritigenin, liquiritigenin, and liquiritin in rat plasma following oral administration of *Glycyrrhizae Radix* extract. *Molecules*, 2019, vol. 24, no. 9, art. 1816. DOI 10.3390/molecules24091816.
16. Kao T.C., Wu C.H., Yen G.C. Bioactivity and potential health benefits of licorice // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2014. – No. 3. – P. 542–553. – DOI: 10.1021/jf404939f.
17. Khaitov B., Karimov A., Khaitbaeva J., Sindarov O., Karimov A., Li Y. Perspectives of licorice production in harsh environments of the Aral Sea regions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, vol. 19, no. 18, art. 11770. DOI 10.3390/ijerph191811770.
18. Khaitov B., Karimov A., Allanov K., Islamov S. Impact of soil salinity and drought stress on the secondary metabolite accumulation in wild *Glycyrrhiza glabra* L. in the Aral Sea basin // *Journal of Arid Land*. – 2021. – No. 8. – P. 845–858.
19. Madraximova M.K., Masharipova Z.A., Ilashova Y.H., Asatova U.U. Extraction of biologically active substances for food from the root of *Glycyrrhiza glabra* L. *American Journal of Social and Humanitarian Research*, 2025, vol. 7. ISSN 2690–9626. URL:.. – No. 5. – P. 181–186. (дата обращения: 19.09.2026).
20. Mamurova M., Rakhimova N., Sharipov A., Olimov U. Assessment of glycyrrhizin and total flavonoid content in licorice roots across different ecological zones of Uzbekistan. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2022, vol. 179, P. 112–121.
21. Masharipova Z.A., Yesboganova M.K. [Effective processing of licorice root]. *International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences*. URL: (In Uzb.). (дата обращения: 19.09.2026).
22. Montoro P. Metabolic profiling of roots of liquorice (*Glycyrrhiza glabra*) from different geographical areas by ESI/MS/MS and determination of major metabolites by LC-ESI/MS and LC-ESI/MS/MS // *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. DOI. – DOI: 10.1016/j.jpba.2010.10.004.
23. Pastorino G., Cornara L., Soares S., Rodrigues F., Oliveira M.B.P.P. Liquorice (*Glycyrrhiza glabra*): A phytochemical and pharmacological review. *Phytotherapy Research*, 2018, vol. 32, no. 12, P. 2323–2339. DOI 10.1002/ptr.6178.
24. Rahman A., Albadrani G.M., Ahmad Waraich E., Hussain Awan T., Yavaş İ., Hussain S. Plant secondary metabolites and abiotic stress tolerance: Overview and implications. In *Plant Abiotic Stress Responses and Tolerance Mechanisms*. IntechOpen, 2023. DOI 10.5772/intechopen.111696.
25. Rizzato G., Scalabrin E., Radaelli M., Capodaglio G., Piccolo O. A new exploration of licorice metabolome. *Food Chemistry*, 2017, vol. 221, P. 959–968. DOI 10.1016/j.foodchem.2016.11.068.

26. Sanoev A., Okhundedaev B., Sham'yanov I., Bobakulov K., Zaripova S., Botirov R., Sadikov A., Sagdullayev S., Ali F., Garayev E. Selective extraction of lipophilic bioactive compounds from industrial root meal of *Glycyrrhiza glabra* L. *Molecules*, 2026, vol. 31, no. 14, art. 2411. DOI 10.3390/molecules31142411.
27. Shang Z., Liu C., Qiao X., Ye M. Chemical analysis of the Chinese herbal medicine licorice (Gan-Cao): An update review // *Journal of Ethnopharmacology*. – 2022. – Art. 115686. – DOI: 10.1016/j.jep.2022.115686.
28. Toderich K., Mukimov T., Shoaib M., Khujanazarov T. Salt tolerance mechanisms and phytochemical variations in wild medicinal halophytes of Uzbekistan. *Industrial Crops and Products*, 2020, vol. 154, art. 112680.
29. Wahab S., Annadurai S., Abullais S.S., Das G., Ahmad W., Kandasamy G., Vasudevan R., Ali M.S., Amir M. *Glycyrrhiza glabra* (Licorice): A comprehensive review on its phytochemistry, biological activities, clinical evidence and toxicology. *Plants*, 2021, vol. 10, no. 12, art. 2751. DOI 10.3390/plants10122751.
30. Yamamoto S., Shimomura A., Watanabe S., Kojoma M., Suzuki A. Overwhelming glycyrrhizin production in *Glycyrrhiza glabra* induced by rhizobial symbiosis // *Journal of Natural Medicines*. – 2025. – No. 4. – P. 833–844. – DOI: 10.1007/s11418-025-01918-2.
31. Zhang M., Wang M.-Y., Liu Y.-Q., Shi H.-M., Li X.-B. Quality analysis of raw and honey-processed licorice of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. and *G. glabra* L. by simultaneous determination of five bioactive components using RP-HPLC/DAD method // *Journal of Food and Drug Analysis*. – 2011. – No. 2. – DOI: 10.38212/2224-6614.2260.
32. Zhang Y., Abdiev A., Chen X., Boboev M. Comparative analysis of bioactive compound accumulation in *Glycyrrhiza glabra* under extreme abiotic stress in Central Asian drylands. *Environmental and Experimental Botany*, 2023, vol. 208, art. 105241.